



universidad
de león



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**EFFECTO DE LAS INTRUSIONES INVERNALES DE
POLVO SAHARIANO EN EL ESPECTRO
POLÍNICO DE LA ATMÓSFERA DE LEÓN**

**THE EFFECT OF THE WINTER INTRUSIONS OF
SAHARIAN DUST ON THE POLLEN SPECTRUM OF
THE ATMOSPHERE OF LEÓN**

Autor: Saúl Alonso Villa

Tutores: María Delia Fernández González

Alberto Rodríguez Fernández

GRADO EN BIOLOGÍA

Julio, 2022

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Polen y polinización.....	1
1.2. Aerobiología.....	1
1.3. Factores ambientales que afectan en los procesos aerobiológicos.	2
1.4. Intrusiones Saharianas.....	3
1.5. Polinosis y salud humana.....	4
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1. Área de estudio.....	6
3.2. Periodo de muestreo.....	6
3.3. Aparato de muestreo esporopolínico	6
3.4. Análisis y estudio de los datos de polen	8
3.5. Datos meteorológicos.....	8
3.6. Estadística	8
4. RESULTADOS	9
4.1. Número total de días con intrusión	9
4.2. Características polínicas durante los eventos de intrusión.....	11
4.2.1. Tipos polínicos predominantes	11
4.2.2. Variación en la diversidad de tipos polínicos	12
4.2.3. Concentraciones polínicas	13
4.3. Principales parámetros meteorológicos implicados en los eventos de intrusión.....	15
4.3.1. Velocidad y dirección del viento	15
4.3.2. Temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones	17
4.4. Resultados estadísticos.....	19
5. DISCUSIÓN.....	20
6. CONCLUSIÓN	25
7. BIBLIOGRAFÍA.....	26

RESUMEN

En el desierto del Sahara se originan grandes tormentas de polvo que, bajo ciertas condiciones meteorológicas, alcanzan la Península Ibérica. Estas masas de aire caliente (intrusiones) son relativamente frecuentes en nuestro país durante los meses de verano, aunque solo en bajo porcentaje llega al noroeste peninsular. Cuando se producen las intrusiones de polvo sahariano, se incrementan la cantidad de partículas madre y de otros aerosoles atmosféricos, originados por reacciones químicas de los elementos minerales con algunos gases. Sin embargo, se sabe muy poco acerca de si estos episodios modifican la concentración de polen y esporas en la atmosfera de los núcleos de población y, todavía menos si dichas intrusiones se han originado en los meses de invierno. Todo ello afecta de manera importante a la salud humana. Por lo tanto, el objetivo fundamental de este estudio fue, analizar la influencia que pueden ejercer las intrusiones invernales de polvo sahariano en el espectro polínico de la atmósfera de la ciudad de León. Para llevarlo a cabo, se estudiaron las variaciones de la concentración de polen y del número de tipos polínicos durante dichos episodios, teniendo en consideración, al mismo tiempo, el efecto que ejercían ciertos parámetros meteorológicos sobre las posibles variaciones. Los resultados evidenciaron que, en los últimos años, se ha producido un incremento de los días invernales con eventos de intrusión y cómo, en general, éstos han favorecido el aumento de las concentraciones de polen y del número de tipos polínicos identificados. Se comprobó también que, cuando las temperaturas son más elevadas y los vientos alcanzan ciertos rangos de velocidad ($2 - 4 \text{ m s}^{-1}$), se facilita la liberación y el transporte de polen.

Palabras clave: concentración polínica, intrusiones saharianas, meses invernales y parámetros meteorológicos

ABSTRACT

Large dust storms originate in the Sahara desert which, under certain weather conditions, reach the Iberian Peninsula. These hot air masses (intrusions) are relatively frequent in our country in the summer months, although only a small percentage reaches the northwest of the Peninsula. When Sahara dust intrusions happen, the amount of mother particles and other atmospheric aerosol, caused by chemical reactions of mineral elements with some gases, increased. However, very little is known about whether these episodes modify the concentration of pollen and spores in the atmosphere of population centers and even less if these intrusions have originated in the winter months. All this significantly affects human health. Therefore, the main objective of this study was to analyze the influence that winter intrusions of Saharan dust can have on the pollen spectrum of the atmosphere of the city of León. To carry it out, the variations in the concentration of pollen and the number of pollen types during these episodes were studied, taking into account, at the same time, the effect that certain meteorological parameters exerted on the possible variations. The results showed that, in recent years, there has been an increase in winter days with intrusion events and how, in general, these have favored an increase in pollen concentrations and the number of identified pollen types. It was also found that, when temperatures are higher and winds reach certain speed ranges ($2 - 4 \text{ m s}^{-1}$), the release and transport of pollen is facilitated.

Keywords: pollen concentration, sahara intrusions, winter months and meteorological parameters.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Polen y polinización

El grano de polen es el gametófito masculino de las plantas espermatofitas. La polinización es el evento que se basa en el desplazamiento del polen desde los estambres y/o sacos polínicos para así realizar la fecundación. En algunos taxones de plantas los granos de polen se liberan al aire y son transportados pasivamente por el viento, denominándose polinización anemófila. Esta polinización suele ser la que está más relacionada con los fenómenos de polinosis (de Castro, 2014). El momento de la liberación de los granos de polen y la cantidad liberada a la atmósfera son procesos regulados genéticamente y por factores ambientales.

1.2. Aerobiología

La Aerobiología es una ciencia multidisciplinar que estudia la liberación y transporte de esporas, granos de polen y otros microorganismos en la atmósfera, así como la deposición de los mismos en cualquier superficie (Pathirane,1975). Esta disciplina tiene numerosas aplicaciones, entre ellas en la Medicina, Agronomía, diseño de espacios verdes urbanos y estudios del impacto del cambio climático en plantas. Entre algunas utilidades de la aerobiología destacan la prevención y seguimiento de la polinosis, detectar cambios en la duración e intensidad de los periodos de floración y estudiar el índice alergénico de plantas ornamentales y así poder seleccionar las plantas adecuadas para los espacios verdes urbanos (Alcázar, 2016).

La implantación de redes de monitorización aerobiológica para el seguimiento de polen atmosférico se inició hace casi 40 años en Italia y en España lleva activa desde 1993 (Galán, 2007). Actualmente, la Red Española de Aerobiología (REA) incluye otras redes autonómicas, entre ellas la Red Aerobiológica de Castilla y León (RACyL), que junto con la de la comunidad de Madrid son las únicas con entidad legal. La monitorización mediante captadores tipo Hirst es considerada, a día de hoy, el método estándar para el muestreo continuo e ininterrumpido de polen. Existen actualmente alrededor de 600 captadores volumétricos tipo Hirst, encontrándose la mayoría en Europa (Buters *et al.*, 2018). Los captadores volumétricos se suelen instalar en grandes áreas urbanas debido a que las enfermedades respiratorias alérgicas, afectan a grandes porcentajes de población, que habita en dichas urbes (Buters *et al.*, 2018; Suanno *et al.*, 2021). En estas zonas es muy importante la selección del lugar de ubicación de un captador volumétrico para que los datos sean representativos y fiables. (Rodríguez-Fernández *et al.*, 2022). Estos análisis estandarizados, requieren tiempo en la obtención de datos, debido al

análisis de muestras mediante microscopía óptica por parte de personal experto (Galán *et al.* 2014). Por esta razón, actualmente se están desarrollando otros sistemas complementarios que puedan producir datos aerobiológicos en tiempo real (Perring *et al.*, 2015; Kawashima *et al.*, 2017).

1.3. Factores ambientales que afectan en los procesos aerobiológicos.

Los parámetros meteorológicos actúan de manera sinérgica sobre la actividad polínica. La influencia que ejercen estos factores depende de la tipología de las especies productoras de polen y del estado fenológico en el que se encuentren, pudiendo actuar: antes de la floración y/o en la propia fase de floración o durante la polinización (McDonald, 1980; Meiffren, 1988; Bricchi *et al.*, 1992).

La dirección y la velocidad de las ráfagas de viento son factores meteorológicos que afectan directamente a la concentración de polen. Se estimó que los vientos que recorren distancias medias o cortas ayudan a transportar granos de polen de masas vegetales circundantes. Los vientos que recorren largas distancias no transportan grandes cantidades de polen, por lo tanto, son las masas de viento que se cargan polínicamente cuando pasan por la Península. Principalmente son los vientos procedentes del oeste y suroeste los que aumentan la concentración polínica en ciudades céntricas peninsulares como León (Rojo *et al.*, 2021). Vientos de velocidades bajas pueden tener efectos negativos en la actividad polínica, ya que ralentizan el balanceo de anteras y por consiguiente la liberación del polen (Damialis *et al.*, 2005). También las fuertes corrientes de viento ($16\text{--}20\text{ m s}^{-1}$) son responsables de que disminuya las concentraciones del material particulado transportado por la atmósfera debido a que los diluyen y dispersan más (Maya-Manzano *et al.*, 2016). Por otro lado, los vientos de velocidad moderada y comprendida en el rango de $6\text{ a }10\text{ m s}^{-1}$ se asociaron directamente con un aumento en la liberación de granos de polen de algunos tipos polínicos. Este parámetro meteorológico también influye sobre la incidencia de las intrusiones saharianas, ya que el movimiento de diversos anticiclones sobre la Península Ibérica afecta en el recorrido de estas intrusiones (Oduber *et al.*, 2019).

La temperatura es un factor meteorológico que actúa en la mayoría de las fases fenológicas, afectando al tiempo de formación de yemas florales y de estambres, así como a la emisión y dispersión de los granos de polen (Leuschner y Boehm, 1981). Este parámetro juega un papel decisivo en el proceso de vernalización o cantidad mínima de horas de frío necesarias para la floración. (González-Parrado *et al.*, 2006). Diversos estudios han analizado el aumento de las

temperaturas medias debido al calentamiento global, evidencian concentraciones mayores de polen y un retraso en los inicios de floración de taxones de plantas específicos (Emberlin *et al.*, 2002; Frei *et al.*, 2008). La dispersión, transporte vertical y permanencia en la atmósfera del polen están favorecidas también por altas temperaturas (Galán *et al.*, 2000). Este factor meteorológico se asocia con corrientes térmicas que facilitan el transporte vertical y por lo tanto la captación de granos de polen (Janssen, 1973).

La precipitación durante el periodo de floración de las plantas actúa como un factor que disminuye considerablemente la concentración polínica debido a que la hidratación de la antera afecta en la liberación de los granos de polen, dificultando la emisión a la atmósfera (Peternel *et al.*, 2006). Las precipitaciones a su vez ejercen una función de “lavado” atmosférico. La lluvia disminuye de forma exponencial la concentración de partículas en la atmósfera, requiriendo más tiempo las de un mayor tamaño (Blanco-Alegre *et al.*, 2021). Por lo tanto, el momento del día en el que ocurra y el estado fenológico de la planta determinarán la influencia de las precipitaciones en la emisión y dispersión del polen. Por otro parte, el tipo de precipitación podría estar relacionado con el aumento de la polinosis, ya que las gotas de lluvia de pequeña dimensión que impactan sobre los granos de polen provocan su hidratación y la consiguiente liberación de proteínas de reconocimiento polen-estigma, muchas de las cuales son alergénicas (Laskin *et al.*, 2016).

El cambio climático podría producir cambios y alteraciones en todos estos parámetros meteorológicos, que indirectamente estarían contribuyendo a la desaparición o aparición de tipos polínicos debido a cambios en la abundancia y distribución de las plantas (Dyderski *et al.*, 2018).

1.4. Intrusiones Saharianas

En la región africana del Sahara, bajo ciertas condiciones meteorológicas locales, se originan corrientes convectivas que levantan arena del desierto. Posteriormente, se forman vientos horizontales violentos que se desplazan a gran velocidad y transportan ese material grandes distancias para que finalmente lleguen a la Península Ibérica. Esto es lo que se denomina intrusión de polvo sahariano y sucede con cierta frecuencia durante el verano. Sin embargo, en las últimas dos décadas se han incrementado, llegando a la zona norte de la Península también durante el invierno; aunque afectando en mayor medida al centro y sureste peninsular. (Querol *et al.*, 2019; Russo *et al.*, 2020 ;Rojo *et al.*, 2021).

Hasta ahora son pocos los estudios que analizan la influencia que estas intrusiones saharianas tienen sobre la concentración de polen en la atmósfera. Se ha observado un aumento en la diversidad y cantidad de polen en puntos del centro y sur peninsular y menos en el norte coincidiendo con eventos de este tipo (Cariñanos *et al.*, 2004; García-Mozo *et al.*, 2017; Oduber *et al.*, 2019). Los eventos de intrusión se relacionaron directamente con un aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones. Las masas de aire que acompañan a su vez a las intrusiones son más cálidas y secas (Salvador *et al.*, 2019; Russo *et al.*, 2020), que indirectamente también favorecen a una mayor liberación y dispersión polínica. Las intrusiones saharianas traen consigo multitud de partículas de carácter mineral como calcitas (CaCO_3), dolomitas ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y cuarzos (SiO_2); así como la mayoría de PM₂₅ y PM₁₀ (Pey *et al.*, 2013). Las partículas PM₂₅ y PM₁₀ de un tamaño más pequeño tienen un efecto mayor sobre la salud humana porque consiguen penetrar con mayor éxito las vías respiratorias y los alveolos (de Castro, 2014). De manera ocasional, estos eventos pueden transportar tipos polínicos nuevos y poco comunes en la zona de deposición. (Grewling *et al.*, 2019).

1.5. Polinosis y salud humana

La polinosis o alergia al polen es una enfermedad que viene desencadenada por inflamaciones de la mucosa nasal, conjuntival y/o bronquial como consecuencia de una reacción anafiláctica producida por los alérgenos existentes en el polen. (Knox y Heslop-Harrison, 1970; Suárez-Cervera *et al.*, 1995). El polen es, junto con las esporas de hongos, el principal aeroalérgeno y responsable de producir la polinosis en gran parte de la población humana (D'Amato *et al.*, 2007; Beggs, 2017).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la prevalencia de la alergia a nivel mundial se encuentra por encima del 30% (Pawankar, 2014). Con el cambio climático, esta enfermedad se ve influenciada respecto a su incidencia y severidad. El calentamiento global, la emisión de cada vez más contaminantes y el cambio en la estacionalidad de las precipitaciones ha propiciado un cambio patente en el ciclo biológico de las plantas. En consecuencia, se adelanta y en muchas ocasiones se alarga la estación polínica de muchos taxones aumentando el número de aeroalérgenos, su tiempo de exposición y el número de afectados por la enfermedad (Buters *et al.*, 2015).

Como hemos comentado anteriormente, la influencia que estos eventos intrusivos saharianos pueden ejercer sobre el espectro esporo polínico de la atmósfera de una ciudad se ha estudiado poco. Por ello es interesante profundizar en este tipo de trabajos para conocer con precisión,

cómo estos eventos pueden afectar a los pacientes de polinosis de ciertas zonas, especialmente del interior de la Península. Dichos estudios serían de gran utilidad en futuros diagnósticos de polinosis y tratamientos clínicos.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Nuestra hipótesis de partida es que, bajo eventos de intrusiones invernales de polvo sahariano, se incrementa la concentración en la atmósfera de tipos polínicos procedentes de plantas de floración invernal-preprimaveral.

La relación de los eventos de intrusiones saharianas y la modificación de la concentración de polen en el aire no es fácil de analizar en periodos de primavera-verano de las regiones templadas. Esto es así porque es en ese momento cuando florecen la mayoría de las plantas y según la climatología y meteorología del año, puede resultar de difícil interpretación. Por otra parte, hasta ahora casi no se han estudiado los eventos que se producen durante el invierno en zonas continentales frías, cuando el número de especies vegetales en flor es escaso. Es en este sentido, que pensamos sería fácil comprobar cómo varía el espectro polínico de una ciudad durante los eventos de intrusiones invernales de polvo sahariano.

Por todo ello, el objetivo principal de este estudio fue analizar el efecto de las intrusiones invernales de polvo saharianos sobre el espectro polínico de León. Para llevarlo a cabo, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Análisis de las variaciones en las concentraciones de polen aerovagante en los días con intrusión.
- Estudio de los cambios en la diversidad de polen debido al transporte a larga distancia provocado por la llegada de las masas de aire con material particulado proveniente de áreas meridionales.
- Análisis del efecto de las intrusiones sobre variables meteorológicas que faciliten la presencia de mayores cantidades de polen en la atmósfera.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en León, ciudad ubicada en el cuadrante noroeste de la Península Ibérica (42° 35'59'' N, 5° 34'0,15'' W), a 820 metros sobre el nivel del mar. Presenta un bioclima Mediterráneo pluviestacional-oceánico supramediterráneo inferior subhúmedo inferior (del Río González, 2005). Dispone de una temperatura media anual de 10,9°C, con heladas frecuentes en invierno y las precipitaciones ocurren de manera irregular a lo largo del año (Castro *et al.*, 2010).

3.2. Periodo de muestreo

A través de la página AEMET, se llevó a cabo un seguimiento de los días que registraban intrusiones saharianas en los últimos años. Se delimitó el periodo de estudio en 7 años (2014-2020). El primer día en el que se registró una intrusión fue el 18 de marzo de 2014 y el último el 27 de marzo de 2020.

Se tuvieron en consideración únicamente los días con intrusión pertenecientes a los meses de invierno (diciembre, enero, febrero y marzo). Una vez obtenidos todos los días con intrusión de los años muestreados, se escogieron 5 días previos (funcionando como fase de pre-intrusión), y 5 días posteriores (ejerciendo como fase de post-intrusión). De esta manera se comparó las posibles variaciones que presentaban los días intrusivos con respecto a los no intrusivos.

El número de intrusiones obtenidas y los meses en los que aparecieron en cada año de muestreo se evidencian en la Tabla 1.

3.3. Aparato de muestreo esporopolínico

Los datos de las concentraciones diarias de polen fueron facilitados por el grupo de aerobiología ATMOSSEV de la Universidad de León y por el Registro Aerobiológico de Castilla y León (RACyL). Las muestras de polen fueron recogidas y procesadas por un captador volumétrico de impacto por succión tipo Hirst (1952) modelo Lanzoni (VPPS 2000) (Figura 1), ubicado en la azotea de la facultad de Veterinaria de la Universidad de León. El aparato presenta un flujo de aspiración de 10 litros por minuto. El aire entrante impacta sobre una cinta de poliéster (14cm x 48 cm) (Figura 2) que va montada sobre un tambor que, por un mecanismo de relojería, recorre 2 milímetros la hora. De este modo se puede calcular la concentración polínica por horas a lo largo del día. Para el procesado y lectura de las muestras, se siguió la metodología de la Red Española de Aerobiológica (Galán *et al.*, 2007).



Figura 1. Captador volumétrico esporopolínico tipo Hirst modelo Lanzoni en la Universidad de León.

La preparación y el análisis de las muestras se llevó a cabo siguiendo la norma europea de análisis aerobiológico del Comité Europeo de Normalización (CEN, EN, 16868,2019).

El método de identificación y conteo de se realizó mediante 4 barridos paralelos horizontales de cada muestra (Figura 2) a 400 aumentos en un microscopio óptico. El recuento final de polen se multiplicó por un factor obtenido a partir del volumen de aire del muestreo (10L/min), el valor del área de lectura y del campo de visión del microscopio; para obtener finalmente el valor promedio diario de concentración (granos de polen /m³).

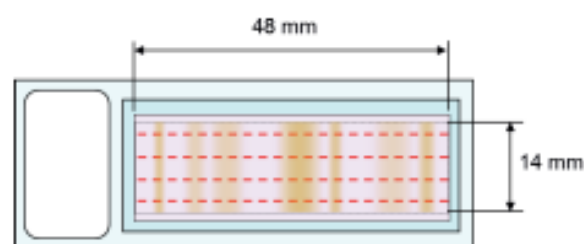


Figura 2. Tambor muestreado y esquema del método de lectura recomendado.

3.4. Análisis y estudio de los datos de polen

A la hora de llevar a cabo el estudio y análisis de los datos polínicos, no se tuvo en consideración el año 2018, ya que, en las bases consultadas, no existen datos de intrusiones saharianas. Para el resto de los años, donde sí existen datos de intrusiones, se seleccionaron únicamente aquellas intrusiones donde los valores polínicos diarios fueron mayores de 10 granos/m³. Las fechas correspondientes, formaron parte del periodo de intrusión seleccionado para este trabajo (Tabla 1). Observando el número de estas intrusiones registrado para cada uno de los años de muestreo (Tabla 1), se consideró estudiar los tres eventos de intrusión del año 2020 de manera independiente debido a que, el conjunto de días con intrusión ocurrió durante tres meses.

Para realizar la clasificación de los datos diarios de concentración de polen y de los distintos parámetros meteorológicos se utilizó el programa Microsoft Excel (2019). Las gráficas de las Figuras 3 y 4 también se obtuvieron empleando el mismo programa. Todos los análisis requeridos para elaborar las gráficas de las figuras 5,6,7 y 8 se llevaron a cabo utilizando el software R versión 4.1.3 (R Core Team, 2022) con distintos paquetes complementarios como “ggplot2” (Wickham, 2016), “tidyverse” (Wickham *et al.*, 2019), y “ggpubr” (Kassambra, 2020).

3.5. Datos meteorológicos

Los parámetros meteorológicos analizados fueron la temperatura (máxima y mínima), la precipitación diaria y la dirección y velocidad del viento. Los datos fueron facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), de la estación de monitoreo localizada en la Virgen del Camino (León).

3.6. Estadística

Para conocer las posibles diferencias estadísticas entre las fases establecidos de pre-intrusión, intrusión y post-intrusión de las concentraciones y diversidad de polen, así como las temperaturas máximas y mínimas de cada fase; se llevó a cabo, en primer lugar, la prueba de Shapiro Wilk para conocer si los datos seguían una distribución normal o no. En aquellos datos que tuvieron un comportamiento normal, se aplicó el test estadístico ANOVA para hallar las diferencias entre las fases. El test de Krustal-wallis se usó en aquellos casos que mostraron un comportamiento no paramétrico en la distribución de sus datos. Todos estos cálculos se llevaron a cabo mediante el software R versión 4.1.3 (R Core Team 2022) con ayuda del paquete complementario “rstatix” (Kassambra, 2021).

4. RESULTADOS

4.1. Número total de días con intrusión

En el periodo de muestreo, durante 189 días se registraron intrusiones saharianas, repartidos a lo largo de los años del estudio. Como se puede ver en la Figura 3, existe una tendencia al aumento de los días con intrusiones invernales durante el paso de los años, presentando inicialmente 20 días en 2014 y finalizando con 54 en 2020. Al comparar el año 2019 con el 2020, observamos como éste último registra 28 días más con intrusión que el año anterior (Figura 3).

Los días con intrusiones no se distribuyeron de manera homogénea durante los meses de invierno. En los años 2014 y 2015 fue el mes de diciembre el que registró la mayor parte de días intrusivos. Por el contrario, en los años 2016, 2017, 2019 y 2020 la mayoría de los días se agrupan en enero, febrero y marzo (Tabla 1). El año con mayor número de evento intrusivos fue el 2020 con 4 bien diferenciadas; seguido de 2014, 2016, 2017, con 3 anuales.

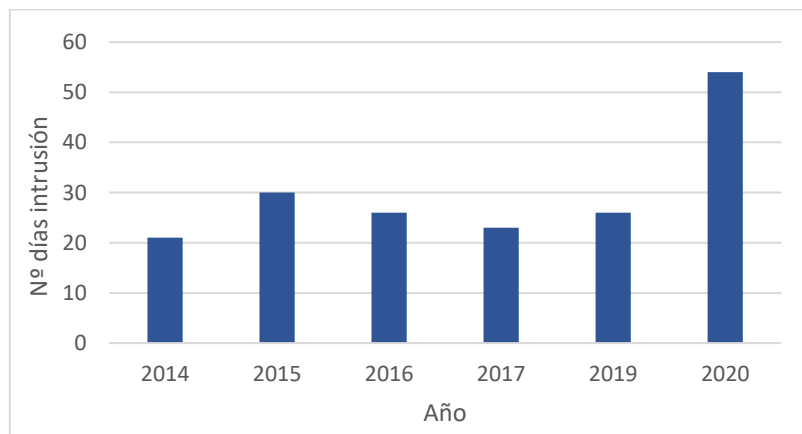


Figura 3. Número de días de intrusión durante el periodo de nuestro estudio (2014-2020).

Tabla 1. Número de intrusiones totales y sus respectivos meses de ocurrencia que tuvieron lugar para cada año de muestreo. También se muestra la duración de las intrusiones escogidas para realizar el análisis de datos y la respectiva distribución de las precipitaciones en los distintos periodos de estudio. Se consideraron también la fase de pre-intrusión y post-intrusión, coincidiendo la fecha de inicio con el primer día de la pre-intrusión y el último día con el final de la post-intrusión.

Año	Nº Intrusiones Totales	Meses Intrusiones Totales	Periodo de intrusión seleccionado	Fase con Precipitación
2014	3	Marzo Diciembre	13/03- 29/03	Post-intrusión
2015	1	Diciembre	25/11- 05/01	Intrusión, Post-intrusión
2016	3	Enero Febrero Diciembre	17/01-04/02	Pre-intrusión, Intrusión
2017	3	Enero Febrero	15/02-03/03	Post-intrusión
2019	2	Febrero Marzo	07/02-06/03	Post-intrusión
			16/03-02/04	Post-intrusión
2020	4	Enero,Febrero Marzo	06/01-17/02	Intrusión
			19/02-09/03	Intrusión
			10/03-01/04	Intrusión, Post-intrusión

4.2. Características polínicas durante los eventos de intrusión

4.2.1. Tipos polínicos predominantes

La Figura 4 muestra el porcentaje de los tipos polínicos más representativos en relación al total de concentración de polen durante los eventos de intrusión analizados. El tipo polínico Cupressaceae fue el más abundante a lo largo de los años a excepción de las del año 2020. El mayor porcentaje se registró en 2015 alcanzando 81% sobre el polen total y el menor en 2020 con un 23%. El tipo polínico *Populus* también estuvo bien representado en varios de los años estudiados (2014, 2019 y 2020), con un porcentaje incluso mayor que el de Cupressaceae (32% frente a 23%, respectivamente). Se registraron a su vez concentraciones considerables del tipo polínico *Alnus* en 2016 y 2020. Finalmente, y aunque los tipos polínicos *Corylus* y *Fraxinus* no fueron los taxones polínicos mejor representados, en comparación a otros tipos polínicos, siempre estuvieron presentes durante los años de muestreo.

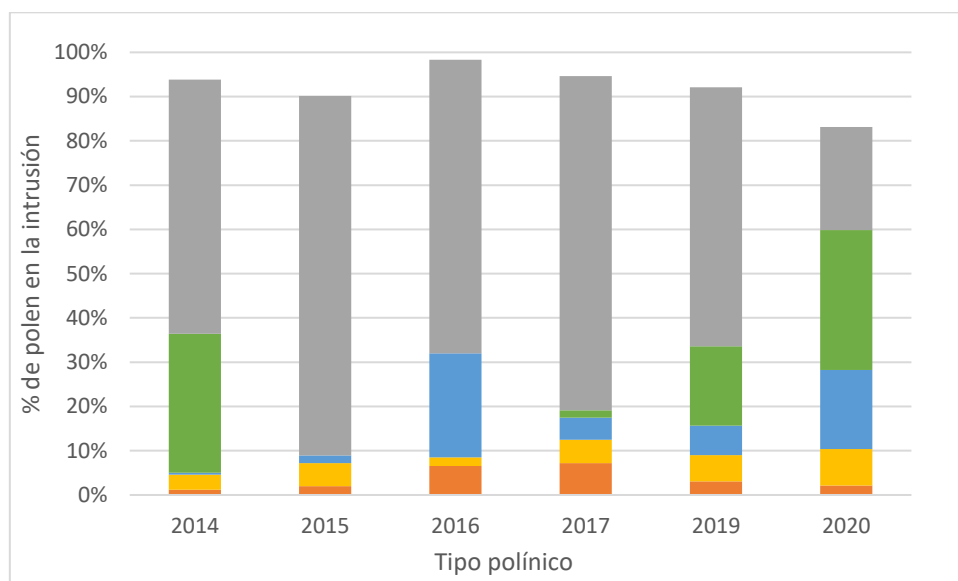


Figura 4. Porcentaje de los taxones más comunes en las intrusiones durante los años de muestreo (2014-2020).
■Corylus, ■Fraxinus, ■Alnus, ■Populus y ■Cupressaceae.

4.2.2. Variación en la diversidad de tipos polínicos

Durante la intrusión de 2014, los días 20/03 y 21/03 presentaron la mayor variedad de tipos polínicos, 11 en total. Por el contrario, en las pre-intrusiones de 2016 y 2015 la variabilidad polínica fue nula (Figura 5).

Las similitudes que guardan todas las intrusiones, a excepción de la intrusión de febrero de 2020; fue el incremento de número de tipos polínicos registrados con la llegada de dicho evento. En algunos casos en los días posteriores a la intrusión se mantuvo o disminuyó el número de tipos polínicos registrados (2014, 2017, febrero y marzo 2020).

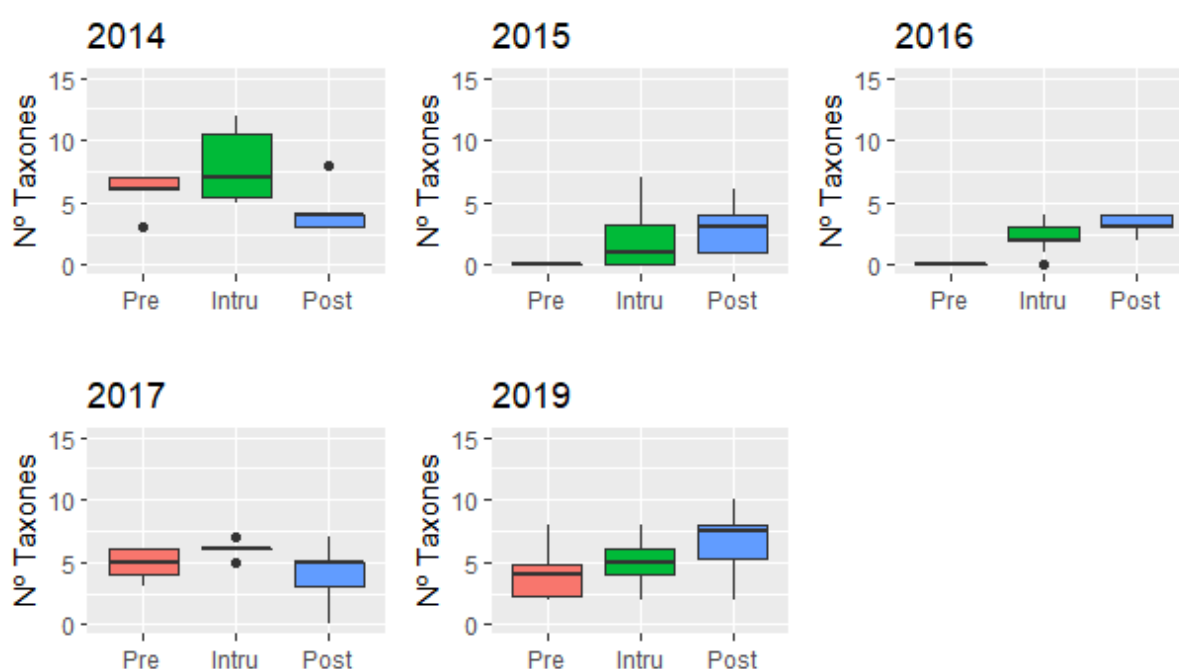


Figura 5. Variabilidad del número de tipos polínicos (Nº Taxones) para cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) durante los años de muestreo de 2014-2019.

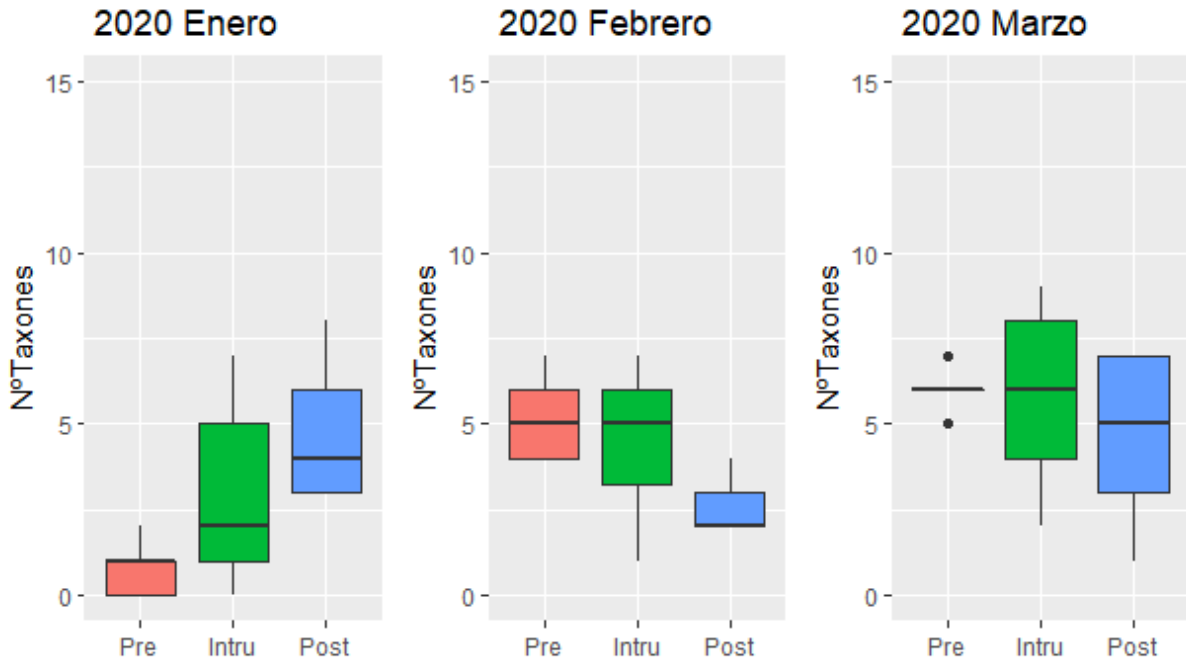


Figura 6. Variabilidad del número de tipos polínicos (Nº Taxones) para cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) durante las tres intrusiones del año 2020.

4.2.3. Concentraciones polínicas

Se comparó la concentración diaria de polen (granos de polen/m³) para cada una de las tres fases de las intrusiones: pre-intrusión, intrusión y post-intrusión; durante los años 2014-2019 (Figura 7) y durante el año 2020 (Figura 8).

El valor más alto de concentración de polen registrado en todo el estudio fue de 556 granos de polen/m³ en la intrusión de 2014. Este año también es el que dispone de un rango de valores más heterogéneo, tanto para la fase pre-intrusiva como para la propiamente intrusiva. Por otro lado, 2015 es el año que presenta concentraciones más bajas. Todas las fases post-intrusivas muestran valores más bajos que sus respectivas intrusiones (Figura 7 y 8). Las pre-intrusiones no siguieron un patrón claro en la distribución de los valores polínicos, obteniendo en la intrusión de marzo de 2020 las concentraciones más elevadas (Figura 8) y en 2015 y 2016 las más bajas (Figura 7).

De forma general e independientemente de la cantidad de polen registrado en la pre-intrusión, se observó un aumento del polen con la llegada de las intrusiones saharianas de febrero y marzo de 2020. En los días catalogados como post-intrusión, se apreció cómo las concentraciones de polen disminuyeron significativamente (2014, 2017, 2019, febrero y marzo 2020); o se mantuvieron con los mismos valores (2016, 2015 y enero 2020) que durante la fase de intrusión.

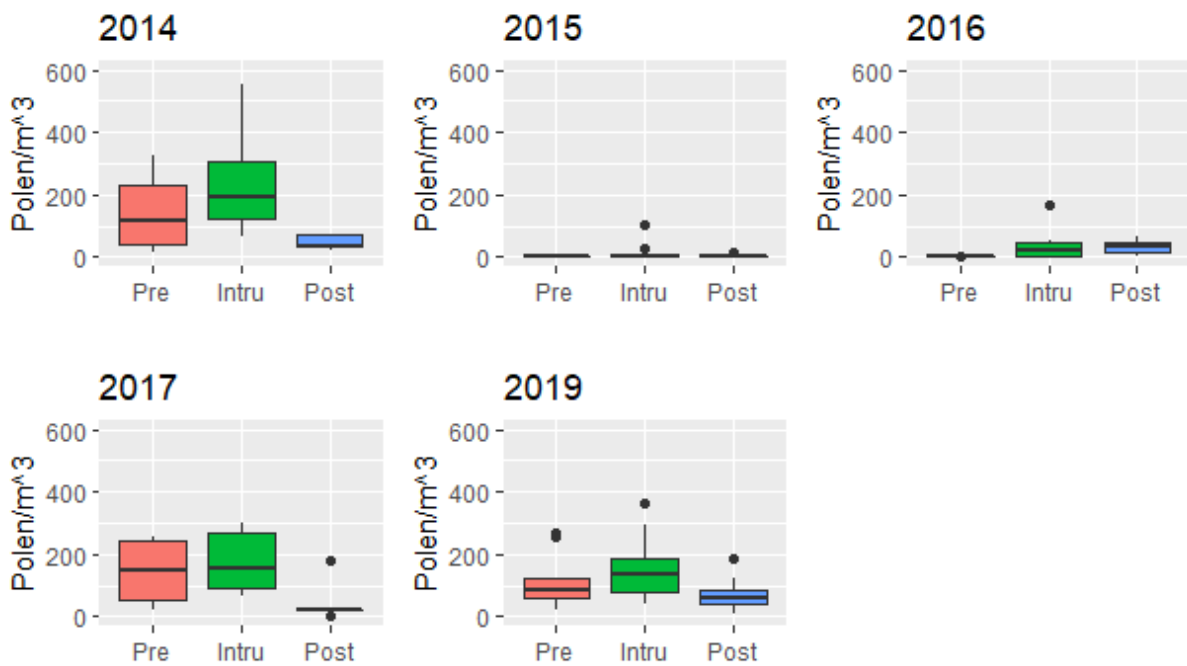


Figura 7. Concentración de polen registrada (Polen/m³) en cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) durante los años de muestreo 2014-2019.

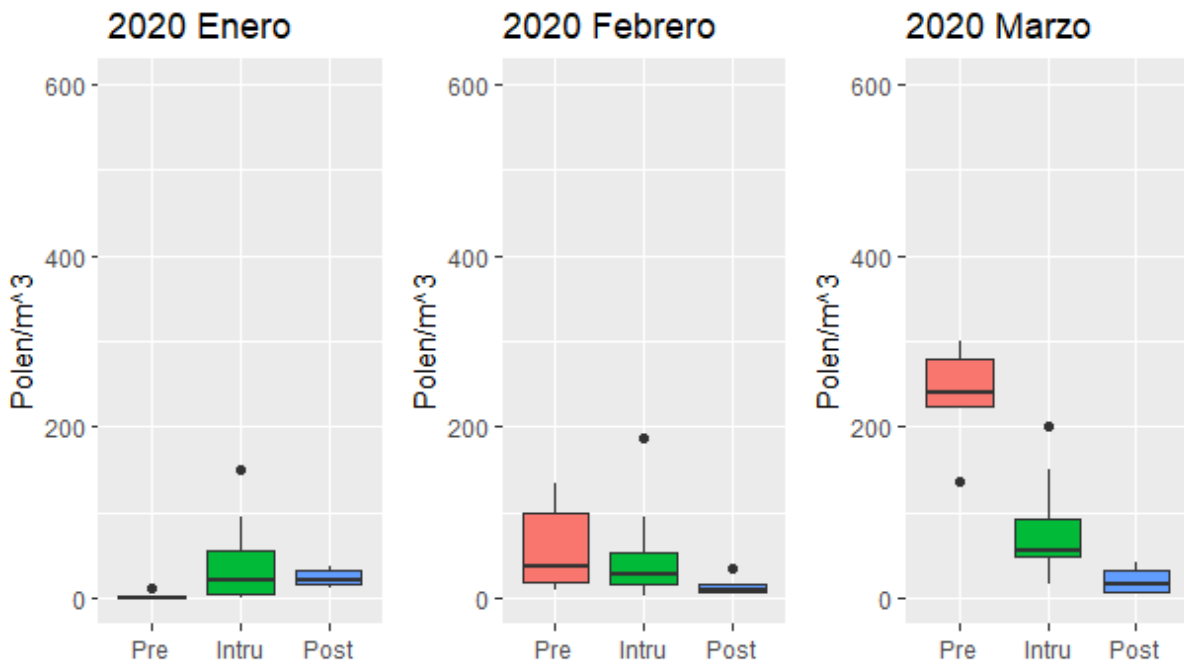


Figura 8. Concentración de polen registrada (Polen/m³) en cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) para cada una de las intrusiones del año 2020.

4.3. Principales parámetros meteorológicos implicados en los eventos de intrusión

4.3.1. Velocidad y dirección del viento

El seguimiento de la velocidad y dirección de las corrientes de viento a lo largo de las intrusiones estudiadas se recogen en las Figuras 9 y 10. Observamos cómo existe una alta heterogeneidad en las velocidades y direcciones entre las intrusiones, aunque es cierto que de forma general durante la fase post-intrusiva se observó una frecuencia mayor de velocidades de viento alta. Por el contrario, los días de la pre-intrusión registraron velocidades bajas de viento (a excepción del año 2015). La fase intrusiva muestra muchas variaciones de velocidad dependiendo de qué intrusión estemos considerando, llegando a altas velocidades en los años 2014 y 2020 (enero y febrero) y registrando los valores de velocidad más bajos en los años 2015 y 2017. No se observa una dirección de viento predominante para cada una de las fases de los eventos, aunque es cierto que la mayoría de post-intrusiones registraron masas de viento con dirección sur, suroeste y este.

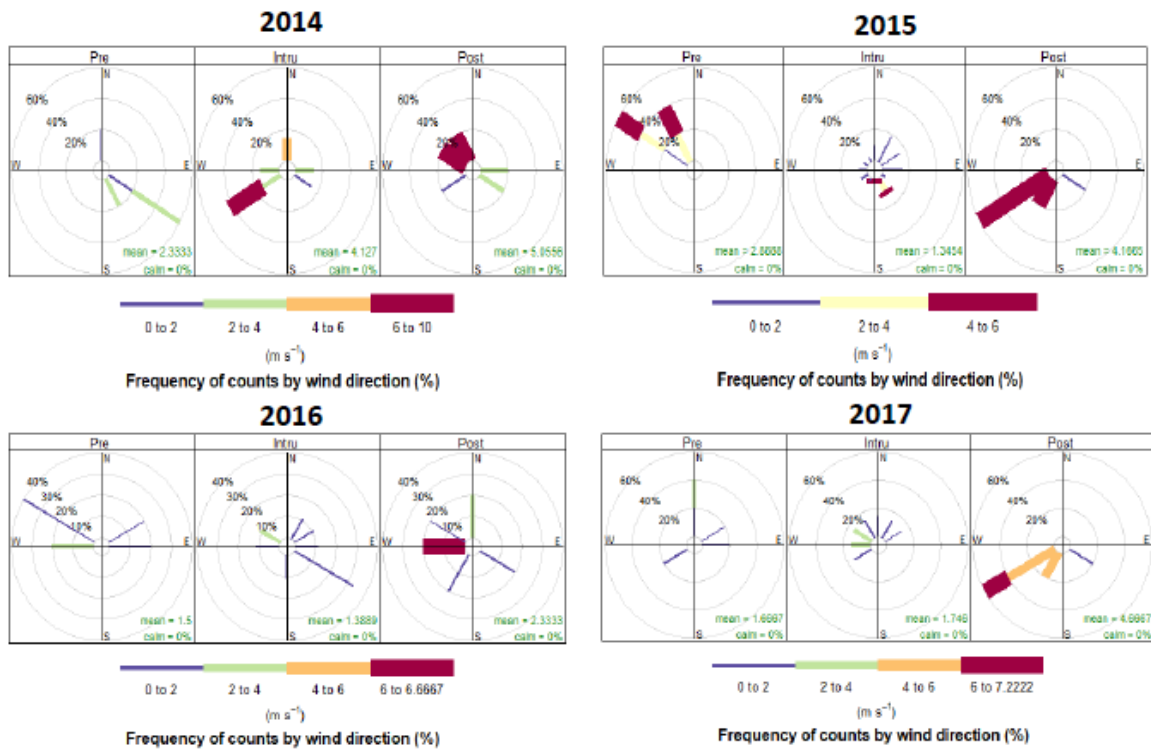


Figura 9. Velocidad (m s^{-1}) y dirección de las ráfagas de viento en cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) durante los años de muestreo 2014,2015,2016 y 2017.

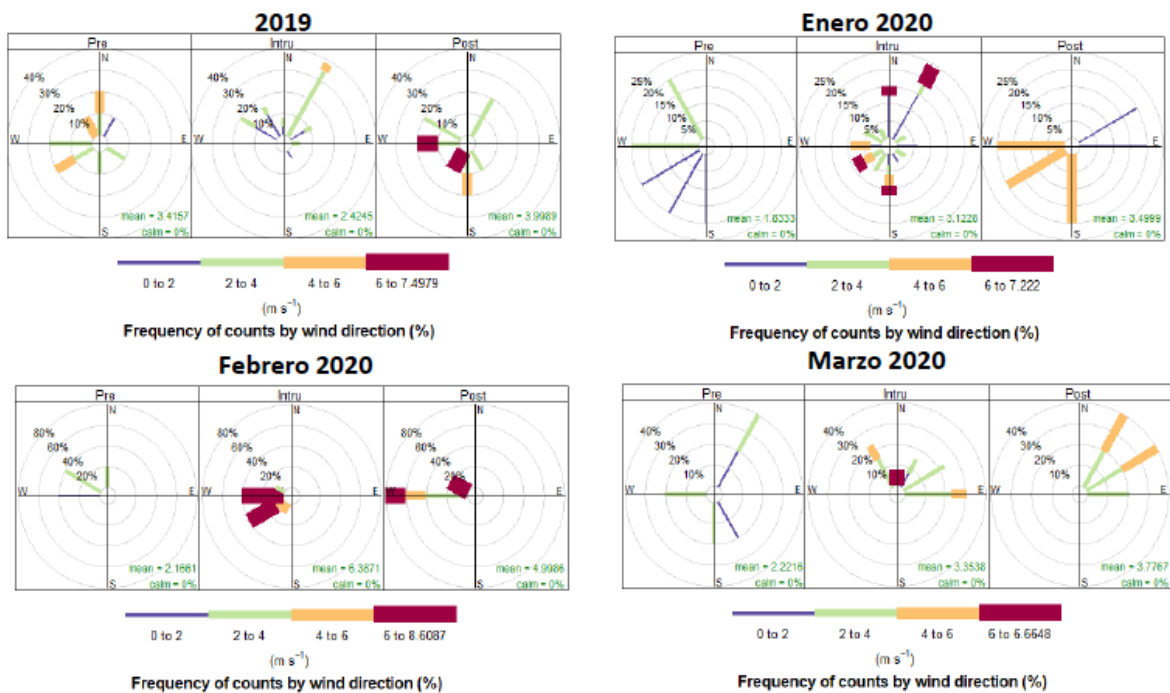


Figura 10. Velocidad (m s^{-1}) y dirección de las ráfagas de viento en cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) durante los años 2019 y 2020.

4.3.2. *Temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones*

En la Figura 11 y 12 se recogieron los valores de las temperaturas máximas y mínimas durante los años 2014-2019. Se evaluaron también estos mismos parámetros para las intrusiones del año 2020 (Figura 13).

Las temperaturas máximas más altas se encuentran en la pre-intrusión de 2014 alcanzando los 21°C y las más bajas se registraron en la pre-intrusión de 2016 bajando hasta los 2,9°C. El año donde hubo menos variación total de temperaturas máxima fue el 2016 y el más heterogéneo en sus valores fue 2020. Analizando las medias de las temperaturas máximas anuales, los años 2014, 2019 y 2020 fueron los que tuvieron temperaturas medias máximas más elevadas, registrando valores de 13,7°C, 13,4°C y 14,9°C; respectivamente. El año 2015 tuvo la media de temperaturas máximas más bajo con 9,2°C.

Observando las temperaturas máximas, la fase de intrusión muestra temperaturas más elevadas para más de la mitad de las intrusiones muestreadas (2016, 2017, 2019 y enero 2020). Para el resto de los años se ve cómo la fase pre-intrusiva comprende valores de temperatura más altos que la intrusión. Posteriormente la post-intrusión en algunos casos mostró registros de menor temperatura que en la intrusión (2014, 2015, 2016 y 2017), o se mantuvieron con temperaturas similares (2019 y 2020).

Las temperaturas mínimas más altas o positivas se obtuvieron en las intrusiones de enero y marzo de 2020 (Figura 13), alcanzado ambas los 8,9°C. Coincide también con el año con una media de temperatura mínima para las tres fases más elevada (1,6°C). El menor se registró en el año 2017, con -5°C, siendo también el año con la media inferior de las temperaturas mínimas (-0,9°C).

En las temperaturas mínimas también se apreció un incremento en la fase de intrusión con respecto a la pre-intrusión para la mitad de los años de muestreo (2014, 2016 y los tres meses de 2020). Durante el resto de los años no hubo cambios notorios para estas dos fases, mostrando temperaturas similares en 2017 y 2019. En algunos casos durante la post-intrusión se obtuvo valores más bajos que en la intrusión (2014 y febrero y marzo de 2020).

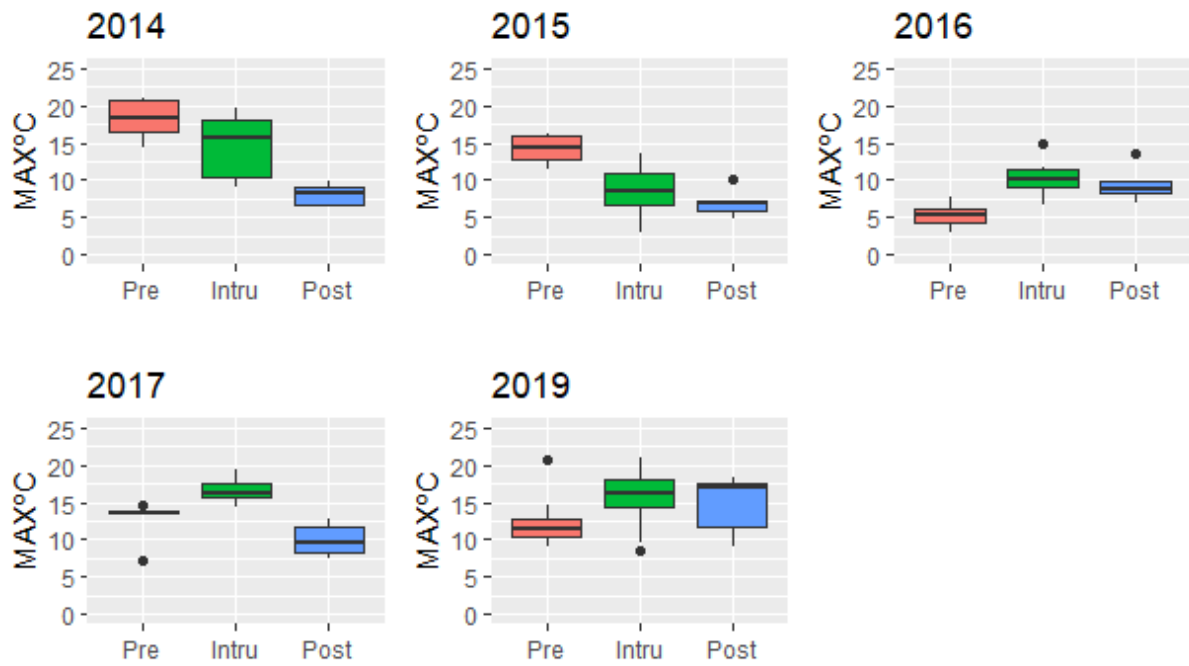


Figura 11. Temperaturas máximas (MAX°C) para cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) a lo largo de los años de muestreo a excepción del año 2020.

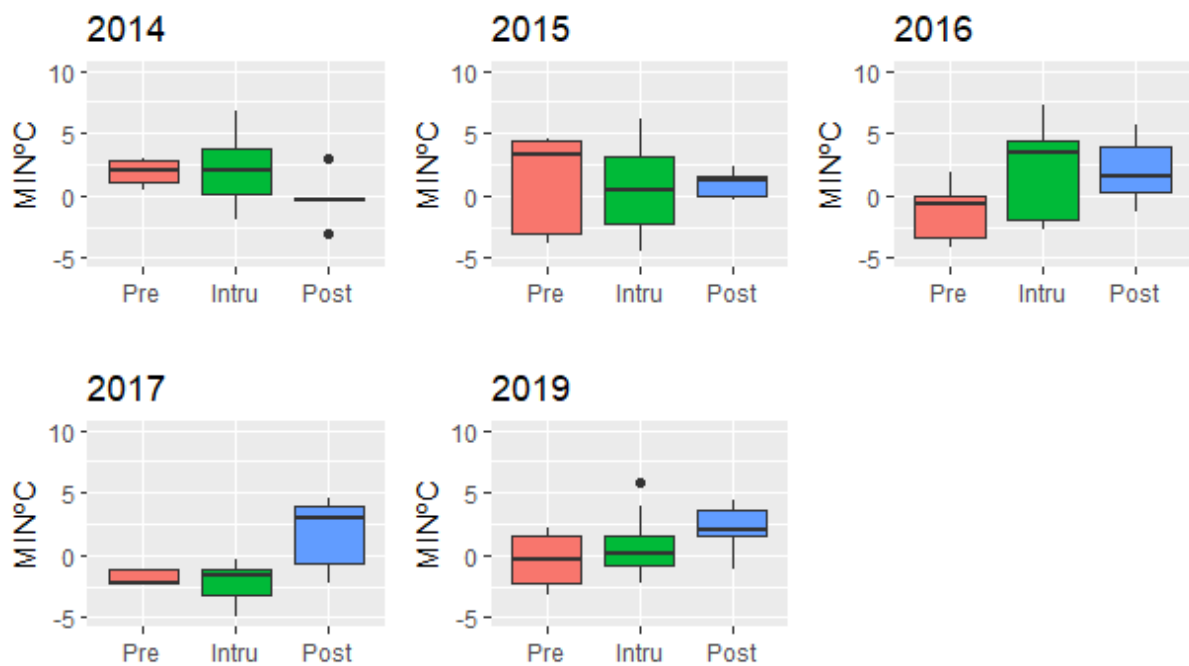


Figura 12. Temperaturas mínimas (MIN°C) para cada una de las fases del evento de intrusión (pre, Intru y Post) largo de los años de muestreo a excepción del año 2020.

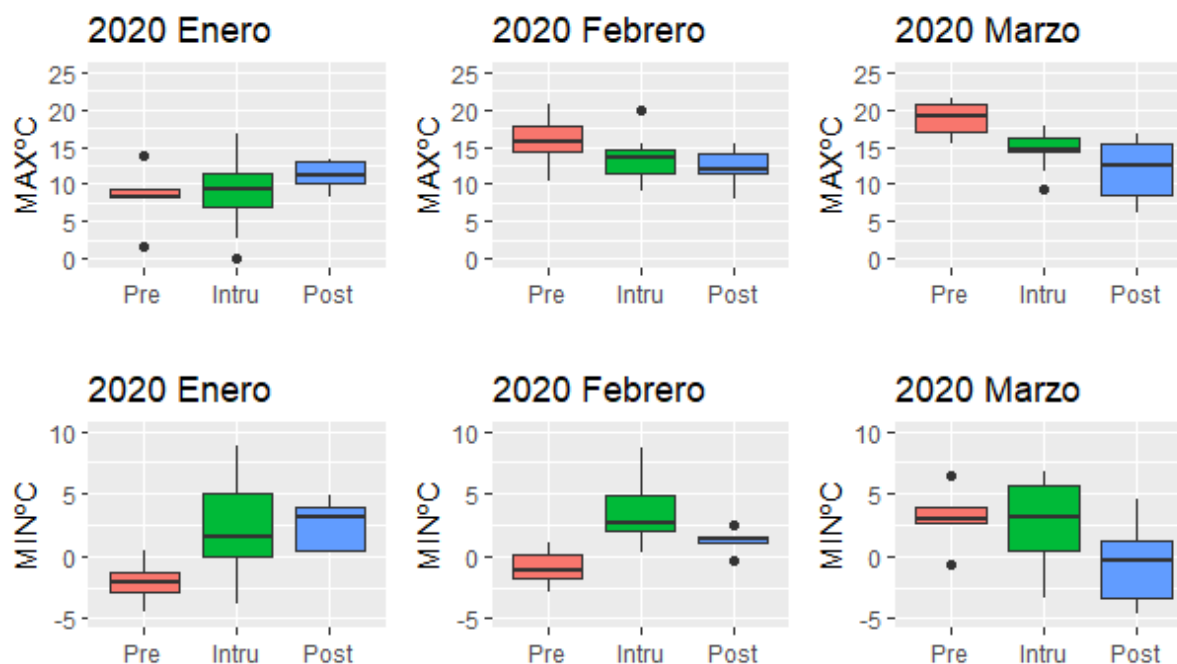


Figura 13. Temperaturas máximas (MAX°C) y mínimas (MIN°C) para cada una de las fases del evento de intrusión (Pre, Intru y Post) a lo largo de las tres intrusiones registradas en 2020.

En relación a las precipitaciones, dependiendo de qué intrusión estemos considerando, se registraron en una fase u otra. Se produjeron lluvias en la post-intrusión de 5 de los 9 eventos, coincidiendo también con el número de fases de intrusión en las que llovió. Solamente en el año 2016 las precipitaciones se registraron en la pre-intrusión (Tabla 1).

4.4. Resultados estadísticos

La prueba de Shapiro-Wilk estableció que los datos de concentraciones de polen y de diversidad de tipos polínicos presentaron una distribución no paramétrica ($p < 0,05$), mientras que los datos de temperaturas máximas y mínimas presentaron una distribución normal ($p > 0,05$).

En cuanto a las concentraciones de polen, los eventos que presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) fueron: 2015, 2016, 2019, enero y marzo de 2020. Cabe destacar que el año 2014 obtuvo un valor de significación igual a 0,05 (Tabla 2).

Las temperaturas máximas presentaron todos los años diferencias significativas entre las tres fases analizadas excepto en el 2020, donde el valor de significancia fue mayor de 0,05 en los eventos de enero y febrero de 2020. Sin embargo, las temperaturas mínimas presentaron la

mitad de los eventos sin diferencias estadísticas ($p < 0,05$); siendo 2017, 2019, enero y febrero de 2020 los eventos con valores significativos (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados estadísticos de los valores de p , obtenidos de las pruebas estadísticas de Kruskal y Wallis (para la concentración polínica) y ANOVA (para las temperaturas máximas y mínimas) en los distintos eventos de muestreo.

Evento intrusivo	Concentración de polen	Temperaturas máximas	Temperaturas mínimas
2014	0,05	$1,08 \times 10^{-3}$	0,24
2015	$1,36 \times 10^{-2}$	$1,90 \times 10^{-4}$	0,58
2016	$1,03 \times 10^{-2}$	$5,32 \times 10^{-3}$	0,18
2017	0,07	$6,90 \times 10^{-4}$	$9,20 \times 10^{-3}$
2019	0,02	$2,70 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-2}$
Enero 2020	$8,37 \times 10^{-2}$	0,44	$1,99 \times 10^{-2}$
Febrero 2020	0,14	0,21	$2,92 \times 10^{-3}$
Marzo 2020	$6,50 \times 10^{-4}$	$5,91 \times 10^{-3}$	0,16

5. DISCUSIÓN

Las intrusiones de polvo Sahariano suelen ser más comunes en zonas del Sur de la Península Ibérica que en el Norte. Además, estas suelen darse durante los meses de primavera y verano, cuando las condiciones atmosféricas son más favorables para el transporte de masas de aire desde el continente africano. En invierno, estos eventos no son habituales en la Península Ibérica, produciéndose raramente en el norte y con una duración de pocos días (Oduber *et al.*, 2019; Rojo *et al.*, 2021). Sin embargo, los resultados de este trabajo mostraron que en los años analizados el número de días de intrusión fue superior al promedio de duración de las intrusiones que acontecen en invierno (< 4 días de duración) (Querol *et al.*, 2004). Un aumento de la duración de estos eventos, especialmente en los últimos años se observó en este estudio, con una duración promedio de 30 días.

Los primeros años mostraron que la mayoría de las intrusiones se producen en el mes de diciembre, mientras que los últimos años muestran una mayor incidencia en los meses de enero, febrero y marzo. Esto se podría explicar por el efecto de procesos anticiclónicos y el movimiento de masas de aire que acontecieron en los años 2014, 2015, 2016 y 2017. En un

estudio que se llevó a cabo para la ciudad de León, se puso de manifiesto que diversos anticiclones como el de las Azores o el Atlántico impedían el movimiento de las corrientes de viento del Sáhara hacia la Península Ibérica (Oduber *et al.*, 2019).

En este estudio, como es lógico, los tipos polínicos predominantes fueron aquellos que tuvieron su periodo de floración en meses invernales y/o pre-primaverales. El tipo Cupressaceae fue el mejor representado en los años muestreados, alcanzando niveles de concentración moderados (51-200 granos de polen/m³) y altos (>200 granos de polen/m³) durante algunas de las intrusiones (Galán *et al.*, 2007). Este tipo polínico engloba especies de la familia Cupressaceae. Muchas plantas ornamentales y bien representadas en las ciudades del norte de la península, como diversas especies del género *Cupressus*, que tienen su floración en invierno. Si bien no forman grandes bosques de vegetación, son especies de plantas muy resistentes a condiciones climáticas extremas, y por eso se utilizan en espacios verdes urbanos. Esto hace que su polen sea muy habitual en la atmósfera de las ciudades, siendo el segundo tipo polínico con mayor abundancia relativa en Castilla y León (Rodríguez-Fernández *et al.*, 2022) e igualmente en la ciudad de León (Vega Maray *et al.*, 2002).

El género *Populus* no apareció en los años 2015 y 2016. Esto se debe a que la fase intrusiva seleccionado para el año 2015 comprendió desde diciembre hasta y principios de enero; y en 2016 se dio desde la mitad de enero hasta principios de febrero. Durante estos meses, el chopo no ha comenzado su floración (Rodríguez-Fernández, 2021) y, por lo tanto, no se registró polen aerovagante de *Populus*. Este tipo polínico presentó concentraciones moderadas (51-200 granos de polen/m³) y altas (>200 granos de polen/m³) en las intrusiones de 2014, 2019 y 2020; ya que éstas se produjeron durante marzo, mes en el que los taxones del género *Populus* están en floración en Castilla y León (Oduber *et al.*, 2019; Rodríguez-Fernández, 2021). Los tipos polínicos *Alnus*, *Corylus* y *Fraxinus* registraron concentraciones polínicas nulas (>1 granos de polen/m³) o bajas (1-30 granos de polen/m³) durante todos los eventos estudiados. Aunque estos tipos polínicos presentan una floración invernal (*Alnus* en enero, *Fraxinus* en febrero y *Corylus* entre finales de febrero principios de marzo), su polen no es demasiado abundante en la atmósfera de León, debido a que suele ser vegetación de ribera o de montaña y no se usan habitualmente en jardinería (González-Parrado *et al.*, 2006).

La fase de intrusión mostró generalmente concentraciones polínicas elevadas. Varios trabajos también ponen de manifiesto que la presencia de días intrusivos se relaciona con un aumento del registro de la concentración polínica (Cariñanos *et al.*, 2004; García-Mozo *et al.*, 2017;

Oduber *et al.*, 2019; Rojo *et al.*, 2021). Sin embargo, en la pre-intrusión de 2 eventos (febrero y marzo 2020) se observaron concentraciones polínicas superiores a los días de intrusión, teniendo diferencias significativas la intrusión de marzo 2020. Los años 2015 y 2016 mostraron diferencias significativas en las concentraciones polínicas, pero, debido al gran número de días que tuvieron valores de 0 (2015), o valores muy bajos (2016); no se observan con claridad dichas diferencias estadísticas. La concentración de polen está influenciada por diversos factores meteorológicos que actúan simultáneamente, por lo tanto, pudieron ser los causantes de las diferencias observadas entre las fases de las intrusiones.

En la mayoría de las pre-intrusiones no se detectaron precipitaciones, salvo el año 2016. En este año llovió en 3 de los 5 días de la pre-intrusión (de promedio 0,58 mm), pudiendo asociarse con la disminución de la concentración de polen de la correspondiente fase. La precipitación tiene un efecto negativo en la emisión de polen, así como en su permanencia en la atmósfera. Las gotas de agua provenientes de la lluvia impiden total o parcialmente la dehiscencia de las anteras o sacos polínicos (Peternel *et al.*, 2006). El efecto de lavado atmosférico que origina este factor ambiental es el causante de que se acabe registrando una menor concentración polínica (Blanco-Alegre *et al.*, 2021; Röhlich-Nowoisky *et al.*, 2016).

En relación a las masas de aire, la fase pre-intrusiva no presentó direcciones de viento con un patrón claro, siendo este muy variable. Generalmente las velocidades de viento medias fueron bajas (con un promedio de $2,2\text{ m s}^{-1}$). Este rango de velocidad favorece la liberación y dispersión del polen en la atmósfera, aunque velocidades más altas (como se obtuvieron en la fase de intrusión) de hasta 4 m s^{-1} favorecen aún más el incremento de la concentración de polen.

En la mitad de nuestros eventos (2014, 2015, febrero 2020 y marzo 2020) las temperaturas máximas de la pre-intrusión fueron más elevada con respecto a la fase de intrusión. Todas ellas presentaron diferencias significativas excepto febrero 2020. Este parámetro pudo ser el responsable de mayores concentraciones y tipos polínicos en la fase de pre-intrusión para marzo 2020, ya que no se encontraron diferencias significativas para el polen, pero sí para las temperaturas máximas. En el resto de los eventos (2016, 2017, 2019 y enero 2020), donde las temperaturas máximas de la pre-intrusión fueron más bajas que en la fase de intrusión, pudo afectar a la obtención de menores concentraciones de polen y tipos polínicos en los días de pre-intrusión. Los eventos con diferencias significativas para las temperaturas mínimas (2017, 2019 y enero 2020), tuvieron temperaturas mínimas más bajas en la pre-intrusión que en la fase intrusiva. Únicamente el año 2015 las temperaturas fueron más altas en la pre-intrusión, pero

no se observaron diferencias estadísticas significativas. El aumento de temperaturas se ha asociado con mayores concentraciones de polen, ya que favorecen la dispersión, el transporte y permanencia de granos en la atmósfera (Galán *et al.*, 2000). Si en la mayoría de las pre-intrusiones se han obtenido menores concentraciones y menor número de tipos polínicos que en los días intrusivos, en parte se pudo deber a las temperaturas más bajas.

La fase de intrusión trajo consigo un aumento de días con precipitaciones, a pesar de que otros autores hayan asociado los días de esta fase con un descenso de las precipitaciones (Salvador *et al.*, 2019; Russo *et al.*, 2020). Para los eventos de 2016, febrero y marzo de 2020, la precipitación sí que pudo ser uno de los factores meteorológicos que disminuyó la concentración y variedad polínica, ya que las lluvias se repartieron por toda la fase de intrusión. Sin embargo, el evento de enero 2020 no se apreció esta disminución aun teniendo la mayoría de los días con precipitación. Por lo tanto, se debe tener en cuenta el tipo de lluvia (duración, hora del día en el que tenga lugar y tamaño de las gotas de agua) a la hora de interpretar los resultados sobre su influencia en la actividad polínica.

Los vientos obtenidos en esta fase tampoco tuvieron una dirección predominante y en la mayoría de los casos fueron de mayor velocidad que los de la fase de pre-intrusión. La velocidad media promedio fue de $2,98 \text{ m s}^{-1}$, lo cual sigue favoreciendo la liberación y dispersión polínica. En los eventos de 2014 y enero 2020, se podría atribuir el aumento de la concentración polínica a este parámetro meteorológico, que fue mayor en esta fase que en la pre-intrusión. Tampoco se han observado granos de polen atípicos venidos de otras zonas geográficas lejanas. Se estima que el transporte de viento a distancias largas, hacia el centro de la Península, carga menores concentraciones polínicas que vientos con un rango de transporte medio-bajo (Rojo *et al.*, 2016). La posible entrada de tipos polínicos extraños procedentes de la Península Ibérica se ve también dificultada por las condiciones topográficas de Castilla y León. Está rodeada de montañas que actúan como escudo, impidiendo el transporte de corrientes de viento y polen (Izquierdo *et al.*, 2016).

Como ya se explicó anteriormente, los días de la fase de intrusión se relacionaron con un aumento de las temperaturas máximas con respecto a la pre-intrusión para la mitad de los eventos analizados. Esto facilitaría la maduración y dehiscencia de anteras, influyendo este parámetro en la aparición de concentraciones más elevadas de polen. Por otro lado, todas las intrusiones con diferencias estadísticas (2014, 2015, 2016, 2017, 2019 y marzo 2020) tuvieron en los días intrusivos temperaturas máximas más altas que en la post-intrusión. Las temperaturas

mínimas a su vez registraron en los días de intrusión los valores más elevados para más de la mitad de los eventos estudiados (2014, 2016, enero, febrero y marzo 2020). Otros trabajos relacionan la llegada de las intrusiones saharianas con el aumento de las temperaturas, favoreciendo por tanto una mayor liberación y transporte de polen (Lind *et al.*, 2016; Salvador *et al.*, 2019; Russo *et al.*, 2020; Rojo *et al.*, 2021). Según nuestros resultados, la llegada de intrusión conllevaría el aumento de las temperaturas (máximas y mínimas), que ocasionaría el aumento de la concentración y variabilidad polínica.

Los días pertenecientes a la post-intrusión registraron los valores polínicos más bajos de las fases estudiadas, a excepción del año 2016; donde el hecho de que fuera la única fase con ausencia de precipitaciones pudo influir en valores polínicos más altos. Las lluvias registradas en esta fase para los eventos de 2014, 2019 y marzo 2020 pudieron disminuir la concentración de polen, debido a que esta fase solo dura 5 días y llovió en la mayoría de ellos.

Al contrario de las fases anteriores, los vientos de la post-intrusión procedían principalmente del sur, suroeste y oeste. Los vientos procedentes del sur pueden aumentar los tipos polínicos que aparecen en ciudades del centro peninsular, ya que la floración de la vegetación del sur peninsular se produce antes. Los eventos de 2015, 2019 y enero 2020 presenta una variabilidad polínica mayor en la post-intrusión, por la razón aquí comentada, lo cual ya se puso de manifiesto por Rojo *et al.*, en 2021. Se observó un aumento de la velocidad media, contabilizando velocidades superiores a 6 m s^{-1} , lo que facilita el barrido de las partículas aerovagantes y por lo tanto la disminución de la concentración polínica en la atmósfera (Maya-Manzano *et al.*, 2016; Sanjosé *et al.*, 2022). Las concentraciones de polen tan bajas en las post-intrusiones de 2017 y enero 2020 pudieron deberse a la presencia de vientos de una velocidad media de $7,2$ y $4,9 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente.

Las temperaturas máximas sí que podrían influenciar las concentraciones polínicas en esta fase, ya que salvo la intrusión de enero de 2020 (que no tuvo diferencias estadísticas para este parámetro) fueron menores que la fase de intrusión, lo cual influyó, en gran medida, en el descenso de la cantidad de polen.

6. CONCLUSIÓN

Del estudio llevado a cabo en este trabajo, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. En los últimos años (2019 y 2020), se ha registrado un número mayor de días intrusivos en los meses de invierno. Los meses en los que se los eventos intrusivos tuvieron lugar en la Península Ibérica, también variaron a lo largo de los años por el efecto de los procesos anticiclónicos y movimientos de masas de aire.
2. El tipo polínico Cupressaceae fue el que más abundancia relativa para los años estudiados en la atmósfera de la ciudad de León, seguido de *Populus* y *Alnus*.
3. Según nuestros resultados, la llegada de los días con intrusión supuso el aumento de las temperaturas mínimas, y en menor medida de las temperaturas máximas. También se relacionaron con vientos de mayor velocidad.
4. Los cambios meteorológicos producidos como consecuencia de las intrusiones tuvieron efecto en la concentración de polen y cantidad de tipos polínicos obtenidos. Un aumento en las temperaturas máximas y mínimas, así como velocidades de viento comprendidas entre 2 y 4 m s⁻¹, se relacionaron de forma general con un aumento en las 2 variables polínicas (concentración y diversidad).
5. La precipitación es otro parámetro ambiental que afecta negativamente a la concentración de polen. Según nuestros resultados, no hubo un descenso de las lluvias con la llegada de los días de intrusión. De hecho, la mayoría de las precipitaciones se registraron en los días de intrusión y post-intrusión.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcázar, P. (2016) La Aerobiología y sus aplicaciones. Disponible en: <http://www.uco.es/organiza/centros/ciencias/es/la-aerobiología-y-sus-aplicaciones> (Accedido: 15 de 06 de 2022).
- Beggs, P. J. (2017) "Allergen aerosol from pollen-nucleated precipitation: A novel thunderstorm asthma trigger", *Atmospheric Environment*, 152(1), pp. 455–457. doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.12.045.
- Blanco-Alegre, C., Castro, A., Calvo, A. I., Oduber, F. *et al.* (2021) "Towards a model of wet deposition of bioaerosols: The raindrop size role", *Science of the Total Environment*, 767(1). doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145426.
- Bricchi, E., Fornaciari, M., Giannoni, C., Greco, F. *et al.* (1992) "Fluctuations of grass pollen content in the atmosphere of East Perugia and meteorological correlations (year 1989)", *Aerobiologia*, 8(1), pp. 401-406. doi: 10.1007/bf02272906.
- Buters, J., Prank, M., Sofiev, M., Pusch, G. *et al.* (2015) "Variation of the group 5 grass pollen allergen content of airborne pollen in relation to geographic location and time in season the HIALINE working group", *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 136(1), pp. 87-95. doi: 10.1016/j.jaci.2015.01.049.
- Buters, J. T. M., Antunes, C., Galveias, A., Bergmann, K. C. *et al.* (2018) "Pollen and spore monitoring in the world", *Clinical and Translational Allergy*, 8(1). doi:10.1186/s13601-018-0197-8.
- Cariñanos, P., Galán, C., Alcázar, P. y Domínguez, E. (2004) "Analysis of the Particles Transported with Dust-Clouds Reaching Cordoba, Southwestern Spain", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 46(2), pp. 141–146. doi:10.1007/s00244-003-2273-9.
- De Castro, S. (2014) *Estudio de alérgenos de polen en la atmósfera de Valladolid*. León: Universidad de León. doi: 10.18002/10612/4219.
- Castro, A., Alonso-Blanco, E., González -Colino, M., Calvo, A. I. *et al.* (2010) "Aerosol size distribution in precipitation events in León, Spain.", *Atmospheric Research*, 96 (1), pp. 421–435. doi: 10.1016/j.atmosres.2010.01.014.
- D'Amato, G. D., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I. *et al.* (2007) "Allergenic pollen and pollen allergy in Europe." *Allergy*, 62 (1), pp. 976-990. doi: 10.1111/j.1398-9995.2007.01393. x.
- Damialis, A., Gioulekas, D., Lazopoulou, C., Balafoutis, C. *et al.* (2005) "Transport of the airborne pollen into the city of Thessaloniki: the effects of wind direction, speed and persistence.", *Int J Biometeorol*, 49, pp. 139-145. doi: 10.1007/s00484-004-0229-z.
- Dyderski, M. K., Paz, S., Frelich, L. E. y Jagodzinski, A. M. (2017) "How much does climate change threaten European forest tree species distributions?" *Global Change Biology*, 24 (1), pp. 1150-1163. doi: 10.1111/gcb.13925.
- Emberlin, J., Detandt, M., Gehrig, R., Jaeger, S. *et al.* (2002) "Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe", *International Journal of Biometeorology*, 46(4), pp. 159–170. doi:10.1007/s00484-002-0139-x.
- Frei, T. y Gassner, E. (2008) "Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969-2006", *International Journal of Biometeorology*, 52(7), pp. 667–674. doi:10.1007/s00484-008-0159-2.
- Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C. J., Weber, B., Huffman, J. A. *et al.* (2016). "Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions." *Atmospheric Research*, 182 (1), pp. 346–376. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.07.018.
- Fuertes-Rodríguez, C. R., González-Parrado, Z., Vega-Maray, A. M., Valencia-Barrera, R.M. *et al.* (2007) "Effect of air temperature on forecasting the start of Cupressaceae pollen type in Ponferrada (León, Spain)." *Ann Agric Environ Med*, 14(1), pp. 237-242.

- Galán, C., Alcázar, P., Cariñanos, P., García-Mozo, H. *et al.* (2000). "Meteorological factors affecting daily Urticaceae pollen counts in southwest Spain." *Int J Biometeorol*, 43(1), pp. 191-195. doi:10.1007/s004840050008.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., y Domínguez-Vilches, E. (2007). *Spanish aerobiology network (REA): Management and quality manual*. Madrid: Servicio de Publicaciones, Universidad de Córdoba.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G. *et al.* (2014) "Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis", *Aerobiologia. Kluwer Academic Publishers*, 30(4), pp. 385–395. doi:10.1007/s10453-014-9335-5.
- García-Mozo, H., Hernández-Ceballos, M. A., Trigo, M. M. y Galán, C. (2017) "Wind dynamics' influence on south Spain airborne olive-pollen during African intrusions", *Science of the Total Environment.*, 609 (1), pp. 1340–1348. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.005.
- González-Parrado, Z., Fuertes-Rodríguez, C. R., Vega-Maray, A. M., Valencia-Barrera, R. M. *et al.* (2006) "Chilling and heat requirements for the prediction of the beginning of the pollen season of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner in Ponferrada (León, Spain)", *Aerobiologia*, 22(1), pp. 47–53. doi:10.1007/s10453-005-9008-5.
- Grewling, L., Bogawski, P., Kryza, M., Magyar, D., *et al.* (2019) "Concomitant occurrence of anthropogenic air pollutants, mineral dust and fungal spores during long-distance transport of ragweed pollen", *Environmental Pollution*. 254 (1). doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.116.
- Izquierdo, R., Alarcón, M., Mazón, J., Pino, D. *et al.* (2016) "Are the Pyrenees barrier for the transport of birch (*Betula*) pollen from Central Europe to the Iberian Peninsula?" *Science of the Total Environment*, 575(1), pp. 1183-1196. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.192.
- Janssen, J. G. M. (1973) "Effects of Light, Temperature and Seed Age on the Germination of the Winter Annuals *Veronica arvensis* L. and *Myosotis ramosissima* Rochel ex. Schult", *Oecologia (Berl.)*, 12(1), pp. 141-146. doi: doi.org/10.1007/bf00345513.
- Kawashima, S., Thibaudon, M., Matsuda, S., Fujita, T. *et al.* (2017) "Automated pollen monitoring system using laser optics for observing seasonal changes in the concentration of total airborne pollen", *Aerobiologia*, 33(3), pp. 351–362. doi:10.1007/s10453-017-9474-6.
- Knox, R. B. y Heslop-Harrison, J. (1970) "Pollen-wall proteins: localization and enzymic activity", *J. Cell Sci*, 6(1), pp. 1-27. doi: 10.1242/jcs.6.1. 1a.
- Laskin, A., Gilles, M. K., Knopf, D. A., Wang, B. *et al.* (2016) "Progress in the Analysis of Complex Atmospheric Particles". *Annu. Rev. Anal. Chem*, 9(1), pp. 117-143. doi: 10.1146/annurev-anchem-071015-041521.
- Leuschner, R. M. y Boehm, G. (1981) "Pollen and inorganic particles in the air of climatically very different places in Switzerland", *Grana*, 20(3), pp. 161–167. doi:10.1080/00173138109427659.
- Lind, T., Ekeboom, A., Kübler, K. A., Ostensson, P. *et al.* (2016). "Pollen season trends (1973-2013) in Stockholm area, Sweden". *PLoS ONE*, 11(11). doi: 10.1371/journal.pone.0166887.
- Maya-Manzano, J. M., Fernández-Rodríguez, S., Smith, M., Tormo-Molina, R. *et al.* (2016) "Airborne *Quercus* pollen in SW Spain: Identifying favourable conditions for atmospheric transport and potential source areas", *Science of the Total Environment*, 571 (1), pp. 1037–1047. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.094.
- McDonald, M. S. (1980) "Correlation of air-borne grass pollen levels with meteorological data", *Grana*, 19(1), pp. 53–56. doi:10.1080/00173138009424987.
- Meiffren, I. (1988) "Airborne pollen of toulouse, southern France: Comparison with bordeaux and montpellier", *Grana*, 27(3), pp. 183–201. doi:10.1080/00173138809428926.
- Oduber, F., Calvo, A. I., Blanco-Alegre, C., Castro, A. *et al.* (2019) "Unusual winter Saharan dust intrusions at Northwest Spain: Air quality, radiative and health impacts", *Science of the Total Environment.*, 669 (1), pp. 213–228. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.305.
- Pathirane, L. (1975). "Aerobiological literature in scientific periodicals". *Grana*, 15(1), pp.145-147. doi: 10.1080/00173134.1975.11864629.
- Pawankar, R. (2014) "Allergic diseases and asthma: A global public health concern and a call to action", *World Allergy Organization Journal*. doi:10.1186/1939-4551-7-12.

- Perring, A. E., Schwarz, J. P., Baumgardner, D., Hernandez, M. T. *et al.* (2015) "Airborne observations of regional variation in fluorescent aerosol across the United States", *Journal of Geophysical Research*, 120(3), pp. 1153–1170. doi:10.1002/2014JD022495.
- Peternel, R., Culig, J., Hrga, I. y Hercog, P. (2006) "Airborne ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen concentrations in Croatia, 2002-2004." *Aerobiologia*, 22 (1), pp. 161-168. doi: 10.1007/s10453-006-9028-9.
- Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Forastiere, F. *et al.* (2013) "African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(3), pp. 1395–1410. doi:10.5194/acp-13-1395-2013.
- Querol, X., Tobías, A., Pérez, N., Karanasiou, A. *et al.* (2019) "Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies", *Environment International*, 130(1). doi: 10.1016/j.envint.2019.05.061.
- del Río González, S. (2005) "El cambio climático y su influencia en la vegetación de Castilla y León (España).", *Itinero Geobotánica*, 16(1), pp. 5–534.
- Rodríguez-Fernández, A. (2021) "Análisis aerobiológico de los tipos polínicos Cupressaceae, Pinus y Populus en la ciudad de León" en Marcos Naveira, L.A. y García Domínguez, S. (eds) *Tendencias medioambientales en el ámbito universitario*. Burgos: Universidad de Burgos, pp. 39-57.
- Rodríguez-Fernández, A., Oteros, J., Vega-Maray, A. M., Valencia-Barrera, R. M. *et al.* (2022) "How to select the optimal monitoring locations for an aerobiological network: A case of study in central northwest of Spain", *Science of the Total Environment*, 827(1). doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154370.
- Rojo, J., Moreno, J. M., Romero-Morte, J., Lara, B. *et al.* (2021) "Causes of increased pollen exposure during Saharan-Sahel dust intrusions", *Environmental Pollution*, 284(1). doi: 10.1016/j.envpol.2021.117441.
- Russo, A., Sousa, P. M., Durão, R. M., Ramos, A. M. *et al.* (2020) "Saharan dust intrusions in the Iberian Peninsula: Predominant synoptic conditions", *Science of the Total Environment*, 717(1). doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137041.
- Salvador, P., Molero, F., Fernandez, A. J., Tobías, A. *et al.* (2019) "Synergistic effect of the occurrence of African dust outbreaks on atmospheric pollutant levels in the Madrid metropolitan area", *Atmospheric Research*, 226(1), pp. 208–218. doi: 10.1016/j.atmosres.2019.04.025.
- Sanjosé, I., Nieva, F. J. J., Infante-Izquierdo, M. D., Polo-Ávila, A. *et al.* (2022). "Temporal and spatial patterns of airborne pollen dispersal in six salt marsh halophytes". *Review of Palaeobotany and Palynology*, 302(1). doi: 10.1016/j.revpalbo.2022.104662.
- Sousa, P. M., Barriopedro, D., Ramos, A. M., García-Herrera, R. *et al.* (2019) "Saharan air intrusions as a relevant mechanism for Iberian heatwaves: The record breaking events of August 2018 and June 2019", *Weather and Climate Extremes*, 26 (1). doi: 10.1016/j.wace.2019.100224.
- Suanno, C., Aloisi, I., Fernández-González, D. y Duca, S. (2021) "Monitoring techniques for pollen allergy risk assessment", *Environmental Research*. doi: 10.1016/j.envres.2021.111109.
- Suarez-Cervera, M., Marquez, J. y Seoane-Carnba, J. (1995) "Pollen grain and Ubisch body development in *Platanus acerifolia*", *Palaeobotany and Palynology*, 85(1), pp. 63-84. doi: 10.1016/0034-6667(94)00086-Y.
- Vega Maray, A. M., Fernández-González, D., Valencia-Barrera, R. M., Fernández Salegui, A. B. *et al.* (2002) "Aerobiología en castilla y león: estación de León (2000-2001)". *Rea* 7, pp. 119-124.