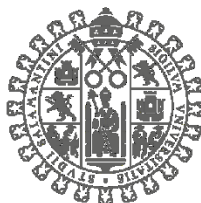


Facultad de Biología



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

**CUANTIFICACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN
DEL AEROSOL ATMOSFÉRICO (ESPORAS
FÚNGICAS Y POLEN) DE SALAMANCA Y
COMPARATIVA DE PARTÍCULAS ALERGÉNICAS
ENTRE DOS ZONAS DE LA CIUDAD**

TESIS DOCTORAL

Sergio Fuentes Antón

Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal

Salamanca, 2020

Facultad de Biología

Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

CUANTIFICACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL AEROSOL ATMOSFÉRICO (ESPORAS FÚNGICAS Y POLEN) DE SALAMANCA Y COMPARATIVA DE PARTÍCULAS ALERGÉNICAS ENTRE DOS ZONAS DE LA CIUDAD.

Memoria presentada por

Sergio Fuentes Antón

Para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca

V. ° B. ° del Director

V. ° B. ° del Codirector

SANCHEZ SANCHEZ
JOSE - 07789339K

Firmado digitalmente por
SANCHEZ SANCHEZ JOSE -
07789339K
Fecha: 2020.10.22 20:38:43 +02'00'

Prof. Dr. José Sánchez Sánchez

Prof. Dra. Estefanía Sánchez Reyes

Salamanca, 2020



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

El Doctor José Sánchez Sánchez, Catedrático de Botánica de la Universidad de Salamanca y la Doctora Estefanía Sánchez Reyes, Investigadora Contratada de la Universidad de Salamanca.

AUTORIZAN, la presentación, para su lectura, de la Tesis Doctoral titulada ‘Cuantificación, análisis y evaluación del aerosol atmosférico (esporas fúngicas y polen) de Salamanca y comparativa de partículas alérgicas entre dos zonas de la ciudad’, realizada por D. Sergio Fuentes Antón, bajo su dirección, en la Universidad de Salamanca.

Y para que así conste, expiden y firman el presente documento en Salamanca, a 21 de octubre de 2020

SANCHEZ SANCHEZ
JOSE - 07789339K

Firmado digitalmente por
SANCHEZ SANCHEZ JOSE -
07789339K
Fecha: 2020.10.22 20:38:43 +02'00'

Fdo. José Sánchez Sánchez

Fdo. Estefanía Sánchez Reyes

*A todos aquellos que
vieron comenzar este trabajo,
pero no pudieron verlo acabado*



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, tengo mucho que agradecerle al Dr. José Sánchez, por aceptarme en su equipo de investigación cuando todavía era un estudiante de Biología, cumpliéndose diez años en el momento de escribir estas líneas. Toda una década en la que gracias a Pepe, tuve mis primeros encuentros en el mundo laboral, profesionalmente hablando, donde pude conocer a muchas personas, de las cuales conservo buenos contactos.

A la Dra. Estefanía Sánchez, quien gracias a ella pude enterarme de la existencia del CIALE y del grupo de investigación de Palinología y Conservación Vegetal. Aunque Fani, en primera instancia quiso ponerme delante del microscopio, tardaría un par de años en descubrirme las maravillas (y el horror en primavera) de la aerobiología y, claro está, sin olvidar a *Cladosporium*... que es un horror casi todo el año.

Siguen en discordia los dos pochos; gracias por el distendimiento y la pérdida de cordura que muchas veces era necesaria para mantener fijo el objetivo de publicar y continuar con la investigación. A Chenchó, le agradezco que me sacara al campo en multitud de ocasiones y me introdujera poco a poco en otra de mis pasiones, la micología. Y si bien, muchas veces la faceta gastronómica predominaba sobre las setas, ello hacía mucho más llevaderas salidas poco fructíferas (p. ej. Potes 2017). Muchos lugares me llevo de este párrafo: El Oso, Vino diario, Porta Coeli, Miranda del Castañar y alguno más que seguro recordaré en cuanto vea un buen vino. Por otro lado, al Doctor Abel (el Abeluco en adelante), le agradezco que se pusiera finalmente con su Tesis y la sacara, teniendo una pequeña (y sana) rivalidad por ver quien publicaba el siguiente artículo (y la obsesión del Q1).

Para terminar con el Laboratorio 8, al Dr. David Rodríguez, quien siempre tuvo un hueco para enseñarme a cacharrear con el SPSS y ayudarme con algunas identificaciones, además de darme apoyo moral en mi primera comunicación oral durante el congreso internacional MedPalyno 2019. A Silvia y Alfredo, como habituales a la hora del café y las jornadas gastronómicas porque sí, les dejo mi agradecimiento por el buen ambiente que se creaba en el laboratorio a la hora de probar las recetas que muy alegremente me solicitaban y mi profundo apoyo y ánimo en los momentos de baja potencia, al ser ellos los continuadores de esta saga doctoral, unos dedicados a lo aéreo y otros dedicados a lo terrenal.

Pero esta Tesis, también fue posible gracias a muchos profesores de la facultad que, quien más quien menos, tuvo una influencia en este trabajo (y de no ser por los que siguen, no habría podido cumplirse tal gesta). Primero, aquellos que con gran dolor ya no están, siendo además excelentes docentes. A Salvador, quien no llamaré profesor Peris por considerarlo más un amigo que un docente, además de un compañero de trabajo y mentor en el campo de la Zoología. De él, además de la infinidad de cosas que me transmitió, me quedará con la importancia de tener buena comida

en el campo y el aquello de que, y cito textualmente: *‘siempre que salimos al campo tenemos la posibilidad de encontrar algo o de no encontrar nada’*.

Y entre los que también nos abandonaron, al profesor Civis, quien fuera mi padrino de graduación, nunca olvidaré la marcha y el buen humor con el que empezaba esas clases paleontológicas a las 8 de la mañana, momento en el que llevaba encima más café, del que servidor puede tomar a lo largo del día.

Aunque me encantaría ponerme a escribir un montón de cosas sobre todos los profesores de la carrera, los agradecimientos casi serían más largos que el propio cuerpo de Tesis por lo que, y yendo en orden ascendente de Departamentos agradecer, en Ecología, a Fernando por todo su apoyo siempre que lo necesité y toda la ayuda prestada para infinidad de trabajos, actividades y en el mismo Máster del cual es director. A Sonia, quien explicaba la Ecología de una manera sencilla para mi entendimiento y que hizo posible años después que realizara una evaluación de impacto ambiental (quien lo diría con todas esas matrices y números). En el departamento de Botánica, evidentemente las palabras han de ser más extensas al basar parte de mi aprendizaje en esta ciencia y, en primer lugar, debo agradecer a la primera botánica que conocí y que además fue mi tutora a lo largo de la carrera. María Jesús, siempre me orientó y guio cuando había alguna cuestión extraña a la hora de realizar papeleo y quien me ayudó a entender un poco mejor el Bonnier. A Juanan quien siempre tenía a bien saludar con un poema, ya fuera en clase o en los pasillos, lo cual era algo que hacía inolvidables muchos momentos de sus asignaturas y salidas al campo (recordando especialmente emotiva la primera salida que tuve a O Grove). A Paco, quien nos amenizó varias salidas con películas excelentes como *‘Por un puñado de dólares’* o *‘Con faldas y a lo loco’*, le agradezco también por su gran desparpajo y paciencia para con muchos de los alumnos presentes en su asignatura. Quique a pesar de no haber cursado su asignatura, me trató siempre muy bien en las salidas donde coincidimos y por supuesto a día de hoy siempre que nos vemos. Por último a Montse, quien durante el Máster fue una excelente profesora y, por lo menos a mí, me hizo más fácil de digerir la estadística bayesiana, los clústers y aquellas clases prácticas de informática por las tardes.

Incluir en esta sección a Teresa y Juan Carlos, los cuales siempre me ayudaron, con gran disposición, en todas las cuestiones habidas y por haber respecto a lo administrativo, ya fuera académica o laboralmente.

Dejando el estamento docente de lado, llega uno de esos grandes pilares, los amigos, los cuales prácticamente en su totalidad, provienen del Máster o la carrera. Sin duda, no podría dejar fuera a las tres personas que fueron las primeras que conocí al entrar en la carrera, aunque una de ellas fuese de letras. Pablo, Edu y Álvaro, el vikingo, fueron un punto muy importante curso a curso, con salidas a la montaña, barbacoas y San Albertos memorables ya fuera vestidos de granjeros,

de *'Braveheart'* o *'Top Gun'*. A pesar de que al finalizar la carrera tomamos caminos separados, siempre vuelven los reencuentros, con la emoción y la nostalgia de aquellos tiempos. A mi grupo de Biólogos de campo, los cuales curiosamente se formalizaron durante el Máster, les agradezco la gran cantidad de anécdotas, experiencias y chifladuras sucedidas desde entonces. David, maestro herborista, cuyo ático con vistas a la Catedral y hamaca, hacía de aquellas barbacoas unas reuniones sociales inolvidables. Carlosi, quien a pesar de ser un dudoso padre, su amor hacia la ornitología y el campo es envidiable (así como su habilidad para los idiomas). Eva, quien siempre aportó un plus de caos en cualquier salida y alimentó mi afán coleccionista en múltiples aspectos. Alicia, cuyos gusto musicales amenizaban cualquier salida al campo. Alex por su hospitalidad y comfortable sofá en mis escapadas a Madrid. Rubén, cuya presencia a lo largo del doctorado ayudó a hacerlo más agradable, ya fuera con cafés de media mañana o asistiendo a congresos, ocasión que incluso permitió conocer personalmente a Alberto Chicote. Seguramente me dejo a alguien pero a estas alturas y según tengo la cabeza, le pido que me perdone. Lo que no esté aquí escrito, seguro que se ha comentado directamente en alguna ocasión.

Seguro que has ido leyendo hasta aquí y ya pensabas que no iba a mencionarte. Pero más que englobarte dentro del grupo amigos o compañeros de trabajo, merecías un párrafo extra para ti sola. A Marian, quien desde los primeros momentos de conocernos ya tuvimos una conexión especial, lo cual acabó desembocando en un montón de experiencias, movidas y proyectos, a cada cual más loco. Por todos esos cafés, de desayuno, mañaneros, de tarde o de madrugada, que nunca duraban menos de tres horas hablando sin parar. Por el apoyo que me diste en momentos de flojera y, en alguna ocasión, los tirones de orejas merecidos, no tengo más que palabras de agradecimiento. Por las oportunidades laborales y permitirme desbloquear la actividad de la Divulgación y la enseñanza con niños. Por las quedadas de Año Nuevo en Candelario, vacaciones en el norte y salidas al campo. Por todo eso y lo que vendrá a partir de ahora, gracias.

Y para finalizar, no por tener menos importancia sino porque merecen ser los que pongan el punto y final a este capítulo, agradecer todo lo conseguido hasta el momento a mi familia. A mis padres por hacer posible este trabajo, arduo y en ocasiones árido, que se hacía cuesta arriba en varios momentos del mismo, y por ayudarme en todo aquello que precisé, lo necesitaré o no. Puede que parezca poco lo escrito para agradecerles, pero como comprenderán sus mercedes, vivo con ellos y raro era el día que no comentaba algo de la Tesis o los artículos, por lo que casi estaba dicho todo. Hasta el momento presente donde toca agradecer el final de esta etapa, repito, posible gracias a ellos. Y a Ana quien fue la última en ingresar a esta gesta, le agradezco la infinita paciencia que ha tenido no solo al soportarme, sino también al acompañarme y ser participe junto a mí de congresos, viajes y otras actividades profesionales, siempre con una sonrisa, lo cual me facilitaba mucho aquellos momentos un poco amargos. Además de ser la madre de esta memoria, dejándose la cabeza las tardes que duró la maquetación de la misma.

A ti querido lector quien, por suerte o desgracia, tienes en tus manos un trocito del conocimiento aerobiológico de Salamanca, permíteme agradecerte el leer y posiblemente utilizar los datos aquí contenidos, y cuantificar aquello que fue necesario para su obtención: dos portátiles, dos bombillas de microscopio, unos 800 porta-objetos con sus respectivos cubre-objetos, 385 referencias bibliográficas (más otras tantas no reflejadas en el texto), toneladas de café, algunas dioptrías más, folios y folios de plantillas e innumerables bolígrafos.

'Omnium scientiarum princeps Salmantica docet'

| | |
|--|-----|
| ➤ Resumen..... | 17 |
| ➤ Abstract | 20 |
| CAPÍTULO I: Introducción | 23 |
| ➤ Marco Histórico (constitución de redes / asociaciones)..... | 25 |
| ➤ Estudios Aeropalinológicos..... | 29 |
| ➤ Justificación y Objetivos | 33 |
| ➤ Referencias Bibliográficas | 35 |
| CAPÍTULO II: Material y métodos | 45 |
| ➤ Área de Estudio | 47 |
| ➤ Recogida y Procesamiento de Muestras Aerobiológicas..... | 52 |
| ➤ Tratamiento de los Datos: Presentación y Análisis Estadísticos | 60 |
| ➤ Presentación de los Datos Meteorológicos..... | 67 |
| ➤ Referencias Bibliográficas | 69 |
| CAPÍTULO III: Resultados | 75 |
| Parámetros Meteorológicos..... | 77 |
| Esporas Aerovagantes de la Atmósfera de Salamanca..... | 87 |
| Artículo I..... | 91 |
| Esporas Aerovagantes de la Atmósfera de Salamanca (Continuación)..... | 111 |
| Artículo II..... | 139 |
| Granos de Polen de la Atmósfera de Salamanca..... | 167 |
| Artículo III | 239 |
| CAPÍTULO IV: Discusión..... | 265 |
| ➤ Referencias Bibliográficas | 311 |
| CAPÍTULO V: Conclusiones..... | 329 |
| ANEXOS..... | 335 |
| Aportaciones a Congresos..... | 337 |
| Anexo Fotográfico | 343 |

➤ RESUMEN

La ciudad de Salamanca, situada en el centro-oeste de la Península Ibérica, se encuentra en un enclave particular, rodeada de diversos ecosistemas como dehesas, tierras de cultivo y zonas boscosas, lo que favorece la presencia de abundantes tipos polínicos y esporas de hongos muy diversos. La ciudad no ha sido completamente estudiada respecto a la presencia de partículas aerovagantes y los datos publicados con anterioridad incluyen resultados de varias décadas atrás. Con el fin de contribuir al conocimiento aerobiológico de la zona, se realizó un muestreo de dos años (2014-2016), para evaluar el contenido atmosférico de la ciudad, cuantificarlo y aportar nueva información de interés para la población alérgica.

Se identificaron 104 tipos de partículas aerovagantes en total: 57 tipos esporales y 47 tipos polínicos. El estudio de las esporas fúngicas comprende aspectos nuevos para la ciudad de Salamanca, habiéndose publicado para esta Tesis Doctoral el calendario esporal, junto con los estudios de las dinámicas estacionales, patrones intradiarios y las correlaciones con parámetros meteorológicos, de aquellas esporas más abundantes. Completando el primer trabajo publicado de esporas, se realizó un estudio comparativo de las concentraciones de esporas de *Alternaria* entre dos puntos de muestreo con diferente nivel de urbanización en la ciudad, así como su relación con los parámetros meteorológicos y análisis estacionales e intradiarios. Respecto a los granos de polen, se realizaron idénticos análisis sobre las partículas registradas, publicando para este apartado los resultados concernientes a aquellos tipos con un interés alérgico, comparando sus niveles, su comportamiento estacional y la influencia de los principales parámetros meteorológicos sobre ellos en dos zonas de muestreo dentro de la ciudad.

Tras los dos años de muestreo, se registraron *Cladosporium*, *Aspergillus/Penicillium* y *Agaricus* por un lado y *Quercus*, Poaceae y *Pinus* por otro como las esporas y los granos de polen más abundantes del aire de Salamanca, respectivamente. Las esporas fúngicas seleccionadas, a pesar de estar presentes a lo largo de todo el año en la mayoría de los casos, muchas de ellas mostraron fechas de concentraciones máximas concretas, variando estas según el tipo de espora. Dentro de las esporas consideradas húmedas o de características más otoñales identificamos *Agaricus*, *Coprinus*, *Epicoccum* y *Periconia*, cuyos picos máximos se alcanzaron entre octubre y noviembre, mientras que como esporas consideradas secas o estivales observamos a *Alternaria* y *Cladosporium* con picos establecidos entre junio - julio, llegando hasta septiembre en el caso de *Cladosporium* según el año. *Pleospora* al estar asociada a la presencia de precipitaciones, mostró una distribución irregular a lo largo del año. Por último, las esporas del tipo *Aspergillus/Penicillium* y *Leptosphaeria*, con una caracterización intermedia, registraron máximos en primavera y patrones más irregulares, respectivamente, estando *Leptosphaeria* condicionada por las precipitaciones. Por otro lado, los granos de polen no están tan presentes a

lo largo del año en base a sus periodos principales de polinización, pero también observamos diferentes distribuciones en función de la estación del año, estando *Alnus*, Cupressaceae y *Fraxinus* presentes durante la época más invernal y principio de primavera, mientras que tipos herbáceos como Amaranthaceae suelen tener su principal representación durante el verano. El resto de tipos seleccionados encuentran sus máximos de distribución en torno a la mitad de la primavera como *Olea* y *Plantago* y, mientras que tipos como *Betula* o *Platanus* suelen tener una presencia de unas pocas semanas, otros como Poaceae y Urticaceae se hallan presentes durante gran parte del año.

Los Periodos Principales de Esporulación y Polinización estuvieron marcados por notables diferencias a la hora de clasificar las partículas aerobiológicas, resultando en una duración mayor en el caso de las esporas, con inicios tempranos en torno a marzo - abril, llegando hasta diciembre - enero del año siguiente, mientras que los granos de polen en su mayoría pese a tener un inicio en fechas similares, suele acortarse su duración llegando hasta mayo - junio, excepto para aquellos tipos más abundantes como *Quercus* y Poaceae, los cuales mostraron una presencia más duradera en la atmósfera

Los patrones intradiarios analizados revelaron comportamientos diferentes, permitiéndonos clasificar las esporas en función de cuando se registraron en los captadores de forma más abundante ya fuera en las primeras horas del día (*Cladosporium*, *Coprinus*, *Ganoderma* y *Leptosphaeria*), horas centrales del día (*Agaricus*, *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium*, *Epicoccum* y *Pleospora*) o al final del día (*Periconia*). En el caso de *Alternaria*, al utilizar dos modelos diferentes de análisis horario, en los dos trabajos realizados, apenas varió su representación diaria, presentando sus concentraciones en las mismas horas, aunque con un incremento más regular a lo largo de las últimas horas de la tarde en el segundo modelo.

Los granos de polen, en su mayoría registraron sus máximas concentraciones diarias en las horas centrales del día, (Amaranthaceae, Cupressaceae, *Fraxinus*, *Plantago*, *Platanus*, *Salix* y Urticaceae), mientras que especies más propias de finales de primavera (*Olea* y *Rumex*), se localizaron en torno a las últimas horas de la tarde. Los tipos de polen más abundantes (*Quercus*, Poaceae y *Pinus*) se localizaron en esta franja horaria, mientras que Ericaceae, presentó sus máximas concentraciones en las primeras horas del día.

Las variaciones interanuales en la producción polínica y fúngica y determinados parámetros meteorológicos pueden hacer variar tanto la concentración de partículas presentes en la atmósfera así como la época de aparición en el espectro atmosférico. La influencia de los parámetros meteorológicos mostró claras similitudes entre polen y esporas, teniendo por un lado las temperaturas y las horas de sol una influencia positiva para la mayoría de las esporas fúngicas así como para los tipos polínicos, mientras que correlaciones con las precipitaciones y la humedad

relativa, resultaron ser negativas para casi todos los elementos identificados, a excepción de aquellos tipos polínicos de carácter invernal (*Cupressaceae* y *Fraxinus*) o esporas fúngicas con requerimientos mayores de humedad (*Agaricus* y *Coprinus*).

Con respecto a la comparativa entre estaciones de muestreo, pudimos establecer diversos niveles de información comparando los datos de distintos años, en un mismo punto de monitorización, y/o entre zonas de muestreo diferentes. Tras realizar el primero de los análisis señalados, observamos diferentes picos de concentraciones máximas, aunque suelen localizarse dentro de los periodos principales, especialmente en el caso de especies con una floración breve como *Betula* o *Platanus*, pudiendo desviarse de dichos periodos o aparecer varios picos máximos, como en el caso de algunas especies herbáceas como *Rumex* y *Urticaceae*. *Alternaria* por su parte mostró dos picos diferenciados durante 2014, alargando sus máximos hasta mediados de agosto, mientras que en 2015, el pico quedó registrado en la segunda mitad de junio.

Por otro lado, la comparativa entre zonas arrojó una mayor abundancia de granos de polen y *Alternaria* en un entorno con bajo nivel de urbanización con carácter general, siendo más abundantes en el centro de la ciudad especies ornamentales con el plátano de sombra y el olivo. Se observó que mientras los granos de polen cambian su presencia y abundancia según la zona de la ciudad estudiada, las esporas de *Alternaria*, no tienen una distribución diferencial, estando su presencia sometida a los cambios que se producen año a año, probablemente debido a parámetros meteorológicos y a las concentraciones totales, siendo estas mayores en una zona semiurbana de manera general. La estacionalidad de las partículas aerobiológicas señaladas, apenas mostró diferencias respecto a los inicios de los periodos principales de esporulación y polinización, no así la duración de dichos periodos, los cuales tuvieron una mayor longitud en días en la zona seminatural para *Alternaria* y la casi totalidad de los tipos polínicos. Los picos de concentraciones máximas se establecieron en la mayoría de las partículas (granos de polen y esporas de *Alternaria*) en fechas similares o idénticas en ambas zonas de estudio, junto con unos días que superaron el umbral de riesgo similares, salvo para el caso de *Poaceae* que obtuvo más variación entre zonas respecto a los niveles de riesgo. Por último, comparando la influencia de parámetros meteorológicos entre zonas, podemos observar como la zona seminatural está más expuesta a los elementos debido a la ausencia de edificios y estructuras que pueden rodear y/o apantallar el captador. Esto se traduce en una influencia mayor de parámetros meteorológicos como las lluvias o el viento en el captador de la periferia mientras que en el centro de la ciudad, dichos parámetros no tienen tan marcado efecto.

➤ ABSTRACT

The city of Salamanca, placed in the Middle-West of the Iberian Peninsula, is located in a particular space, surrounded by a diversity of ecosystems like dehesas, farmlands and woody zones, which favoured the presence of a high and diverse number of pollen types and fungal spores. The city has not been completely studied in the aspect of the airborne particles and the published data contains results from decades ago.

With the aim to contribute to the aerobiological knowledge of the city, a sampling was conducted during two years (2014-2016), in order to evaluate the atmospheric content from the city, quantify it and support new information of interest to the allergic population.

A total of 104 airborne particles were registered in total: 57 different spores and 47 pollen grains. The study of the fungal spores include new aspects about the city of Salamanca, being published for this Doctoral Thesis the spore calendar, along with the seasonal dynamics, intradiurnal patterns and correlations with meteorological parameters, for the more abundant spores. This first paper was completed with a comparative study of the *Alternaria* spores concentration between two sampling points, with a different urbanization level, as well as the relationship with meteorological parameters, seasonal and intradiurnal analysis. For pollen grains, the same procedures were taken into consideration, publishing for this part of the study the results concerning to allergenic types, comparing the levels, seasonal behaviour and influence of the main meteorological parameters in the particles between two sampling sites.

After the two monitored years, *Cladosporium*, *Aspergillus/Penicillium* and *Agaricus* on the one hand and *Quercus*, Poaceae and *Pinus* on the other hand were registered as the more abundant spores and pollen grains present in the air of Salamanca, respectively. The fungal spores selected, although most of them were present along the year, frequently showed maximum concentration dates, varying according to the spore type. Considering the 'wet spores' or with an autumnal distribution, were present *Agaricus*, *Coprinus*, *Epicoccum* and *Periconia*, with maximum peaks located between October and November, while spores from the 'dry spores' or aestival we observed *Alternaria* and *Cladosporium* with peaks in June - July, reaching September in the case of *Cladosporium*, depending on the year. *Pleospora*, was associated to rainy days, showing an irregular distribution along the year. At last, spores from the type *Aspergillus/Penicillium* and *Leptosphaeria*, obtained an intermediate characterization, with their peaks during spring and more irregular patterns, being *Leptosphaeria* influenced by rainfalls. In the other part of the study, pollen grains were not so equally distributed during the year, depending on the pollen season from each type, but we also observed different distributions depending on the season, with *Alnus*, Cupressaceae and *Fraxinus*, present in the winter season and early spring, while other herbaceous types like Amaranthaceae usually have the main representation in summer. The rest of the selected

pollen grains, had their maximum of distribution towards mid spring like *Olea* or *Plantago* and, while *Betula* or *Platanus* had a very short presence from about a few weeks, other like Poaceae and Urticaceae were present during a long portion of the year.

The Main Spore Season and Main Pollen Season, registered notable differences when classifying the aerobiological particles, showing a longer duration in the spores, with early starts around March - April, until December - January of the next year, while pollen grains mostly had similar starts, but the duration of their periods reached May - June, except those types more abundant as *Quercus* and Poaceae, which obtained a more durable presence in the atmosphere.

Intradiurnal patterns showed different behaviours, classifying the spores according to the moment when they were more abundant in the samplers: in the first hours of the day (*Cladosporium*, *Coprinus*, *Ganoderma* and *Leptosphaeria*), central hours (*Agaricus*, *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium*, *Epicoccum* and *Pleospora*) or at the end of day (*Periconia*). In the case of *Alternaria*, with the use of two different models for the intradaily analysis, we observed that the results hardly varied, presenting the spores concentration in the same hourly range, and with a smooth increment in that last hours of the afternoon in the second model.

The pollen grains registered their maximum diurnal concentration in the central hours of the day (Amarathaceae, Cupressaceae, *Fraxinus*, *Plantago*, *Platanus*, *Salix* and Urticaceae), while species more typical of late spring (*Olea* and *Rumex*), were located in the last hours of the afternoon. The most abundant pollen types (*Quercus*, Poaceae and *Pinus*), were present in this hourly range and Ericaceae had the maximum concentration in the first hours of the day.

Interannual variations in the pollinic/fungal production and different meteorological parameters may vary the quantity of the particles present in the atmosphere as well as the period of presence in the atmospheric spectrum. The influence of the meteorological parameters showed clear similitudes between pollen and spores, with the temperatures and sun hours having a positive influence on most of the fungal spores and pollen grains, while correlation with precipitations and relative humidity were negative for almost all the elements, except for those wintry species (Cupressaceae and *Fraxinus*) or fungal spores with high humidity requirements (*Agaricus* and *Coprinus*).

According to the comparison between samplers, we could establish different information levels by comparing the data from different years, in the same sampling point and/or between different sampling zones. Considering the first type of analysis, we could observe different peaks of maximum concentrations, which were usually located inside of the main pollen seasons, especially for those species with a very short flowering period like *Betula* or *Platanus*, being occasionally moved from those main periods or detecting several peaks, as *Rumex* and Urticaceae

showed. *Alternaria* registered two peaks during 2014, enlargement its maximums until mid-August, while during 2015 the peak was reached in the second half of June.

On the other hand, the comparative between zones revealed a greater abundance of pollen grains and *Alternaria* in a semi-urban environment, being more abundant in the city centre those ornamental species like olive trees and London plane trees. It was observed that pollen grains changed their presence and abundance depending on the zone of the city, while *Alternaria* did not show a differential distribution, being its presence regulated by the annual changes, probably due to meteorological parameters, and by the total concentrations which were more abundant in the semi-urban zone. The seasonality of the aerobiological particles barely obtained differences between the start of the main seasons, otherwise the length duration obtained larger periods in the seminatural zone for *Alternaria* and almost all the pollen types. Peaks of maximum concentrations were established (for pollen grains and *Alternaria*), in similar or identical dates in both study areas, along with those days in which the threshold values were surpassed, except for Poaceae, which had more variation between zones, with respect to the threshold values. At last, comparing the influence of the meteorological parameters between zones, we could observe that, the semi-urban zone was more exposed to the elements, due to the absence of buildings and structures that could surround and shield the sampler. This means a more direct influence of meteorological factors like rainfall or winds on the periphery sampler whereas in the city centre parameters do not seem to have so marked effect.

CAPÍTULO I

Introducción

‘El secreto de la existencia humana no solo está en vivir, sino también en saber para qué se vive’

- Fiódor Dostoievski

➤ MARCO HISTÓRICO (CONSTITUCIÓN DE REDES / ASOCIACIONES)

La Aerobiología como ciencia es bastante reciente tal y como se puede apreciar al revisar brevemente sus orígenes. Hace 90 años, Fred C. Meier fue quien acuñó el término Aerobiología, para definir la ciencia que estudia todas aquellas partículas y elementos vivos y no vivos que están presentes en la atmósfera (esporas, polen, contaminantes, insectos...) (Gregory, 1973). Ello propició que a lo largo del siglo XX, se escribieran tratados y textos (Wodehouse, 1935; Erdtman, 1952; Sáenz, 1978) que aún en la actualidad, siguen consultándose. Desde entonces, la mayoría de los estudios que abordan esta disciplina se centran en las relaciones de estas partículas con los procesos alérgicos.

De un modo más amplio, fue definida como la ecología de la atmósfera (Edmonds & Benninhoff, 1973). Desde entonces se han ido modificando las definiciones precisando los conceptos sobre los que la ciencia tiene una mayor ocupación (Pathirane, 1975) e incluyendo partículas no bióticas como parte del estudio de la Aerobiología (Lebowitz & O'Rourke, 1991). En la actualidad, una de las definiciones más completas para Aerobiología es: “*Ciencia que se ocupa del estudio de partículas de origen animal o vegetal que son transportadas por el viento, así como de conocer las interacciones que existen entre dichas partículas y los procesos de producción, liberación, transporte y deposición, así como con los contaminantes inorgánicos de la atmósfera*” (Munuera et al., 2001).

A pesar de que la Aerobiología fue definida, como ya hemos indicado, en 1930, no fue hasta los años cincuenta cuando esta ciencia comenzó a conformarse de una manera más precisa. En un principio, Hyde (1952) contribuyó a la definición del término *Aerobiología* de Meier como el estudio de los granos de polen, esporas y bacterias presentes en la atmósfera, creando más tarde el concepto de Aeropalinología, definiéndolo como el estudio exclusivo de los granos de polen y las esporas presentes en la atmósfera. Posteriormente, algunos autores comenzaron a utilizar el término Aeromicología para referirse únicamente al estudio de las esporas aerovagantes en ambientes tanto exteriores como interiores (Reiss, 1972; Charpin et al., 1973; Garrison & Robertson, 1989). Sin embargo, en la actualidad, el término Aeropalinología comprende tanto el estudio de granos de polen como el de esporas fúngicas, tal y como había definido Hyde. En el mismo año, Hirst (1952) diseñó el primer captador volumétrico, cuyos principios siguen vigentes en la actualidad y gracias a ello, comenzaron a publicarse los primeros trabajos sobre el estudio de partículas aerovagantes (Faegri, 1956; Erdtman, 1966).

Con todo este impulso inicial, a los pocos años, se fue creando la necesidad de agrupar bajo un mismo manto, todo el conocimiento aerobiológico que se iba generando y así, se estableció en 1964 el Programa Biológico Internacional (IBP), que incluía la Aerobiología como un tema a

considerar. A partir de entonces, uno de los primeros pasos en la configuración de esta ciencia fue la creación de un Grupo de Trabajo Internacional de Aerobiología, en 1968, que permitiría coordinar todos los programas aerobiológicos nacionales. Seis años más tarde, en 1974 se crea la Asociación Internacional de Aerobiología (IAA) en La Haya, Holanda (Recio, 1999), teniendo esta ciencia así una entidad de referencia para la realización de este tipo de estudios. En 1986, se creó la Red Europea de Aeroalérgenos (EAN-European Aeroallergen Network) en Basilea, Suiza, con la intención de poder realizar intercambios de información aerobiológica entre países de la Unión Europea. En la actualidad, la EAN cuenta con más de 400 estaciones de monitorizaje en activo que proporcionan información aerobiológica de 39 países, algunos de ellos incluso fuera del continente europeo. La base de datos que maneja y gestiona la EAN (European Pollen Information-EPI), se encuentra actualmente alojada en el grupo de investigación de Aerobiología e Información Polínica de la Universidad Médica de Viena y gracias a los esfuerzos de una gran cantidad de voluntarios e investigadores desde sus inicios, la base de datos es, en sí misma, la colección de datos polínicos más grande del mundo.

En España la Aerobiología se inició con los trabajos de Jiménez Díaz en 1930 (Recio, 1999), pero no es hasta casi 60 años después cuando se tuvo en cuenta el panorama español dentro de una asociación aerobiológica como la EAN. Los pioneros fueron el grupo de la Universidad de Córdoba (Domínguez Vilches, 1992) que en 1990 se une a esta red internacional, siguiéndoles el grupo de Aerobiología de Málaga un año más tarde. En 1992 se crea la Red Española de Aerobiología (REA), con la finalidad de obtener y proporcionar información aerobiológica a escala nacional con un interés para la población alérgica y alergólogos. Esta red es la más importante de España, gracias a la información que envían los grupos integrantes semanalmente a su centro coordinador en la Universidad de Córdoba. La REA se encuentra a su vez dentro de la Asociación Española de Aerobiología (AEA), la cual fue constituida en 1995, considerándose como una Red Técnica desde entonces dentro de dicha asociación.

A día de hoy, la REA está constituida por más de 60 estaciones distribuidas por todo el territorio español incluyendo los dos archipiélagos (fig. 1.1). Los grupos de trabajo de las diferentes comunidades autónomas cuentan en algunos casos como Córdoba o Badajoz con varias estaciones de muestreo (entre 4 y 5) a nivel provincial, lo que aumenta el número de datos aerobiológicos disponibles para el estudio y análisis de las partículas aerovagantes y así proporcionar información de interés alérgico más detallada.

Aunque en España esta red se considera la más importante del territorio, no es la única red de monitoreo que existe. Mientras que la REA se conformó como una red académica, esto es, conformada por personal docente e investigador de Universidades e Instituciones de Investigación, la Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica (SEAIC) conformó

otra red de captación y procesamiento aerobiológico dentro de la misma, la cual está dirigida por profesionales sanitarios. Dicha red cuenta con unas 64 estaciones de muestreo de tipo Hirst, las cuales realizan muestreos continuados desde el año 1978 y en la actualidad exponen los resultados de forma pública y gratuita a través de su página web (<https://www.polenes.com>).



Figura 1. 1. Captadores distribuidos por el territorio español. Fuente: REA.

En lo que se refiere a la comunidad autónoma que nos ocupa, en el año 2006 se presentó en el marco del XV Simposio Internacional de la Asociación de Palinólogos de Lengua Española (APLE), llevado a cabo en Benalmádena (Málaga), un programa de captación y procesamiento de información aerobiológica en Castilla y León, estableciéndose en marzo de ese mismo año el Registro Aerobiológico de Castilla y León (RACyL) (Fernández González et al., 2006), gracias a un convenio entre la Agencia de Protección de la Salud y Seguridad Alimentaria de la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León y la Universidad de León.

En un inicio, la red estaba formada por once captadores volumétricos de tipo Hirst (uno por cada capital de provincia y dos más en las poblaciones de Miranda de Ebro y Ponferrada), ampliándose en el año 2008 con una estación más en Arenas de San Pedro, ampliación motivada por la presencia de una vegetación y unas condiciones climáticas particulares, debido a la proximidad de la Sierra de Gredos. En el año 2010 se añadieron tres estaciones adicionales en Aranda de Duero, Benavente y Béjar, esta última de gran interés para los alergólogos salmantinos, permitiendo contar con información de varios puntos de la provincia. En la actualidad son 13 las

estaciones que actualmente continúan en funcionamiento (fig. 1.2) y que también ponen a disposición del público información polínica en su página web (<https://www.saludcastillayleon.es/es/polen>).

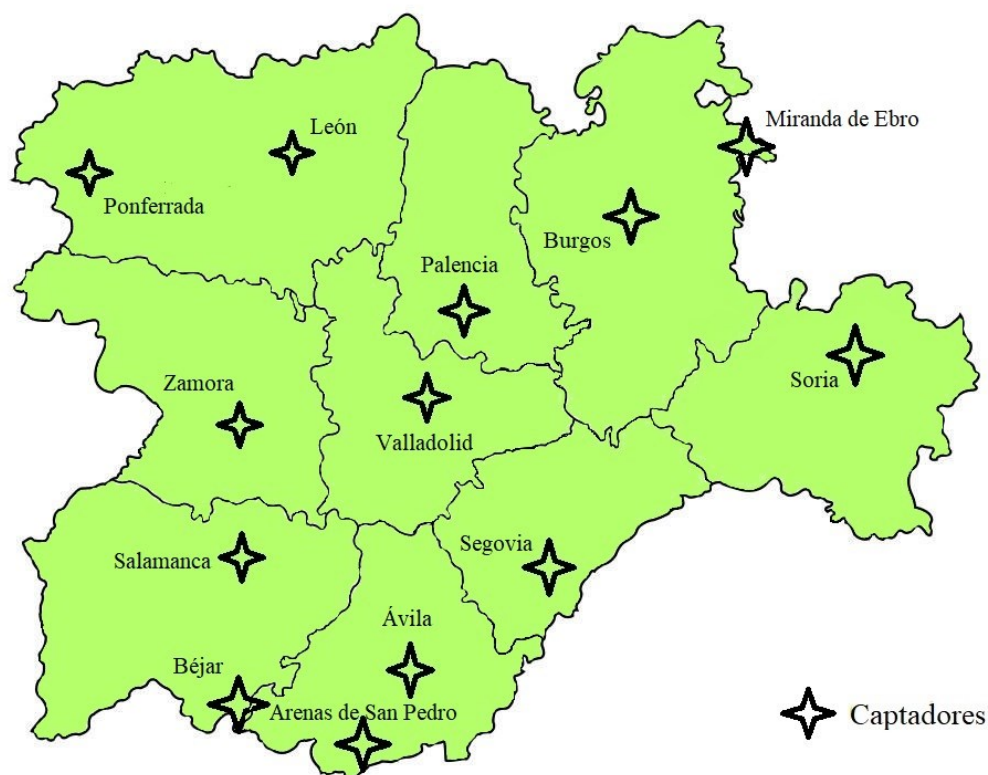


Figura 1. 2. Captadores distribuidos por Castilla y León. Fuente: RACyL.

Salamanca ha estado implicada, al igual que el resto de las provincias de Castilla y León, en la obtención, análisis y difusión de resultados aerobiológicos, incluso antes de establecerse el RACyL. Si bien, el grupo de investigación de Palinología y Conservación Vegetal del Instituto Hispano Luso de Investigaciones Agrarias de la Universidad de Salamanca, formó parte del RACyL desde su creación hasta el año 2013, comenzó nuevamente, y de manera independiente, la captación de partículas aerobiológicas al año siguiente, estando parte de los resultados presentes en esta Tesis Doctoral donde se analizó la totalidad de granos de polen y esporas fúngicas presentes en la atmósfera de la ciudad durante dos años consecutivos (2014-2016).

➤ ESTUDIOS AEROPALINOLÓGICOS

Los estudios aerobiológicos potenciados por el establecimiento de las redes comentadas, comenzaron a ser cada vez más abundantes a lo largo de todo el mundo, permitiendo tener una información mayor sobre partículas aerovagantes y, gracias a los datos obtenidos desde los inicios de muchas de las redes de monitorizaje, podemos encontrar desde publicaciones que evalúan los cambios de las partículas a lo largo del tiempo (Hoebeke et al., 2018; Karatzas et al., 2019), hasta investigaciones punteras que tienen en cuenta cuestiones de actualidad como modelización (Bilińska et al., 2017), cambio climático (Weryszko Chmielewska et al., 2019) o estudios genéticos (Campbell et al., 2020). Incluso debido a la reciente situación de pandemia debida al Covid-19, se han publicado ya algunos artículos, si bien la relación entre aerobiología y las enfermedades infecciosas ya había sido contemplada con anterioridad (Fernstrom & Goldblatt, 2013; Pani et al., 2020). Como hemos mencionado, estas investigaciones engloban tanto granos de polen como esporas fúngicas, pero las segundas están comenzando a cobrar una mayor relevancia a la hora de estudiar el contenido atmosférico. A lo largo del mapa europeo podemos encontrar trabajos con información muy relevante sobre varios tipos esporales desde la zona de Europa del este (Haas et al., 2014; Ianovici, 2016; Magyar et al., 2018), pasando por el Mediterráneo (Sindt et al., 2016; Bardei et al., 2017; Damialis et al., 2017; Marchesi, 2020) y zonas más al oeste como Portugal (Almeida et al., 2018) o Irlanda y el Reino Unido (O'Connor et al., 2014; Sadyś et al., 2016; Sadyś, 2017), cubriéndose una gran área de información aerobiológica, que se continúa hacia otros países y continentes (Patel et al., 2018; Songnuan et al., 2018).

Es evidente que el estudio de las partículas aerovagantes, enfocado a la difusión de información en relación a las polinosis, es un punto de gran interés en el ámbito médico, existiendo varios trabajos publicados tanto desde los inicios de la Aerobiología (Coca & Cooke, 1923; Deamer & Graham, 1947) como en la actualidad (Aydogdu & Asan, 2008; Lee et al., 2017; Fernández Soto et al., 2018). En España, el interés sobre las partículas aerovagantes y su influencia en las polinosis también se ha abordado desde hace varias décadas hasta el momento presente (Subiza et al., 1995; Staffolani et al., 2011; Cariñanos et al., 2017) contando incluso con una clasificación que engloba los niveles umbrales mínimos de concentraciones a partir de los cuales puede desencadenarse la respuesta alérgica (Galán et al., 2007), la cual incluye los principales tipos polínicos con potencialidad alérgica. Pero al igual que el interés de la información polínica comenzó a crecer, recientemente varios autores (Elvira Rendueles, 2019; Njokuocha et al., 2019), han puesto de manifiesto la importancia de estudiar más a fondo las esporas en los cuadros de alergias de origen/tipo ambiental. Debido a que su abundancia en la atmósfera es superior a los granos de polen, hasta diez veces mayor, y al incremento en la sensibilización de la población a este tipo de partículas aerovagantes, las más estudiadas han sido aquellas esporas bien diferenciadas como

Alternaria (Nees), *Cladosporium* (Link), *Epicoccum* (Link) o *Torula* (Pers.), entre otras. Al igual que existen niveles umbrales para varios tipos polínicos, también existen niveles umbrales para determinados tipos de esporas los cuales indican las concentraciones a partir de las cuales pueden desencadenarse los procesos alérgicos (Gravesen, 1979). Aún con ello, los trabajos que involucran esporas con potencialidad alérgica como *Alternaria*, son escasos todavía en ciertas zonas de Europa (Skjøth et al., 2016) y en la actualidad se están realizando investigaciones que permitan aportar más información con respecto a su comportamiento aerobiológico.

Como se ha puesto de manifiesto en este breve repaso sobre la aerobiología, desde sus inicios hasta prácticamente el momento presente, existen una amplia variedad de estudios que se incluyen en esta ciencia contándose entre ellos investigaciones en el ámbito sanitario y agrario, pasando por las dinámicas estacionales e intradiarias, las relaciones con factores meteorológicos, hasta modelos de retrotrayectorias. Pero incluso con todo este gran muestrario de investigaciones, existen algunos temas cuyo estudio y, por ende, nivel de publicación, no resulta tan abundante, lo que ha propiciado que en los últimos años hayan cobrado un mayor interés en investigarse supliéndose así, de forma paulatina, esta falta de información. A continuación se mencionan algunas de estas investigaciones.

Las comparativas entre estaciones de muestreo se han llevado a cabo desde hace varias décadas (Galán et al., 1995a; Galán et al., 1995b; Khattab & Levetin, 2008), llegando a investigaciones más extensas como el artículo de Rojo y colaboradores (2019), en el cual se comparan los resultados obtenidos a diferentes alturas en 25 áreas distribuidas por todo el mundo. Actualmente hemos de tener en consideración que, independientemente del tipo de estudio comparativo del que se trate (comparando estaciones a diferente altura, estaciones en diferentes localizaciones de una misma ciudad o entre ciudades y países diferentes, entre otros), siguen siendo trabajos escasos comparados con otros estudios de interés aerobiológico. Como afirman Kasprzyk y colaboradores (2015), existen pocos artículos centrados en la comparativa entre sitios de monitoreo y entre ciudades con condiciones climáticas similares. Las investigaciones que se comenzaron a realizar fueron comparativas entre zonas de diferente nivel de urbanización, esto es, áreas rurales y áreas urbanas (Oliveira et al., 2009; Vélez Pereira et al., 2016), avanzándose en estos estudios llegando a establecer incluso gradientes de distribución a lo largo de un área (Lin et al., 2018). Esto posibilita una sinergia con estudios sobre alergenicidad y polinosis, mencionados al inicio de este apartado, pudiendo estas investigaciones comparar dentro de una misma ciudad los niveles polínicos o esporales existentes en diferentes áreas, ya que estos pueden verse afectados por factores como diferencias entre los entornos (presencia de determinados substratos y/o zonas verdes), la flora ornamental distribuida por las ciudades, la influencia de factores meteorológicos, factores arquitectónicos y de diseño urbano (efecto barrera entre edificios, cambios en las corrientes de aire por la distribución de las calles) y otras actividades relacionadas con el manejo

de parques y jardines. De esta manera podemos cuantificar áreas potencialmente peligrosas para la población alérgica indicando incluso, las fechas y las horas del día más conflictivas en función del tipo polínico o esporal al que tengan sensibilidad (Gonzalo Garijo et al., 2006; Velasco Jiménez et al., 2013; Fernández Rodríguez et al., 2014).

Otra de las investigaciones que está tomando fuerza en los últimos años es la construcción de calendarios esporales. Este tipo de estudios, existían ya desde los años 90, con los trabajos de Inceoğlu y colaboradores (1994) en Turquía, Caramiello et al. (1994) en Turín (Italia) y Szczepanek (1994) en Cracovia (Sur de Polonia), los cuales exponen los resultados obtenidos durante tres años (los dos primeros), mientras que el último analiza una serie temporal de datos más larga, de diez años. Aunque estos primeros calendarios estaban principalmente enfocados al contenido polínico, Nikkels y colaboradores (1996) recogieron datos durante diez años en Leiden (Holanda) para la elaboración de un calendario esporal para la ciudad. Es posible que la dificultad que entraña el estudio de dichas partículas biológicas, debido al gran número presente en la atmósfera, además de la distribución cosmopolita que presentan los hongos, sea un factor que determina que el número de trabajos publicados al respecto sea menor, en relación a los calendarios polínicos. En los últimos años, se están aportando calendarios esporales desde diversas zonas del planeta, al realizarse investigaciones más detalladas en esporas lo que permite por un lado, crear nuevos calendarios en ciudades donde no existían y por otro, renovar con nuevos datos aquellos calendarios que se hicieran años atrás, publicándose resultados más recientes (Bednarz & Pawlowska, 2016; Katotomichelakis et al., 2016; Sadyś et al., 2016; Elvira Rendueles et al., 2019; Ščevková & Kováč, 2019).

Como se ha visto, a lo largo del mundo los estudios sobre granos de polen y esporas involucran temáticas diversas y de interés común, tanto a nivel de alergenicidad, dinámicas estacionales, relaciones con parámetros meteorológicos o comparativas entre estaciones de muestreo que integran a su vez todos estos temas. Castilla y León, no ha sido diferente del resto de zonas interesadas en el estudio de partículas aerovagantes, máxime cuando consta de estaciones de muestreo integradas en redes de monitorizaje como el RACyL, la REA y la SEAIC. En la comunidad castellano-leonesa los principales trabajos publicados en la zona se refieren a datos de varias décadas atrás, como por ejemplo los realizados en Palencia (Herrero et al., 1996), León (Vega Maray et al., 2000), Zamora (González Parrado et al., 2009) y en la misma Salamanca (Pérez Gorjón et al., 2003) ciudad que nos ocupa y objeto de esta Tesis Doctoral. En los últimos años se han realizado varios trabajos en zonas cercanas a la provincia de Salamanca como Ávila (Blanco et al., 2017), donde también se toman datos de la estación de Béjar y especialmente en la zona de Valladolid, donde se ha investigado más profundamente en esporas con influencia en la agricultura y el ámbito sanitario (Sánchez Reyes et al., 2007, 2009, 2012) e incluso se publicó el primer calendario esporal para la ciudad (Sánchez Reyes et al., 2016) junto otros trabajos que,

desde el punto de vista médico, abordan estudios moleculares de hipersensibilidad a varios tipos de esporas (Armentia et al., 2019).

En lo relativo a Salamanca, uno de los primeros trabajos publicados referidos a partículas aerovagantes en su capital, corresponde a un calendario polínico con datos de los años 1981-1982 y 1991-1992 (Hernández Prieto et al., 1998), completándose años más tarde con una serie temporal más amplia con las investigaciones de Rodríguez de la Cruz y colaboradores (2010a). A partir del año 2003 aparecen otras publicaciones que abarcan la presencia de granos de polen junto con algunas consideraciones meteorológicas y patrones de distribución diaria con datos del año 1995 (Suárez González et al., 2003). Desde entonces se ha continuado trabajando en determinar el contenido aerobiológico de la ciudad, tomando continuidad desde el año 2003 y hasta prácticamente la actualidad, con la publicación de diversos artículos y capítulos de libros (Rodríguez de la Cruz et al., 2003, 2007, 2008, 2010b, 2011a, 2012a, 2012b, 2015). Junto a estos estudios aerobiológicos analizando diferentes tipos polínicos, se realizaron otros estudios con aplicaciones a la agricultura (Rodríguez de la Cruz et al., 2014), publicaciones de otras partículas aerobiológicas como esporas de helechos (Rodríguez de la Cruz et al., 2009) e incluso trabajos en el ámbito sanitario con estudios de inmunología clínica (Rodríguez de la Cruz et al., 2011b). Con todos estos trabajos realizados, el espectro polínico en la atmósfera de Salamanca quedaba bastante bien caracterizado. Sin embargo aún quedaba pendiente el abordar el estudio de las esporas fúngicas presentes en el aire de la ciudad.

Al margen de todos estos trabajos y publicaciones, se han realizado varias Tesinas (algunas parcialmente publicadas) y Tesis Doctorales relacionadas íntegramente con la aerobiología (Pérez Gorjón et al., 2003; Suárez et al., 2003; Sánchez Reyes, 2003; Sánchez Reyes et al., 2006; Rodríguez de la Cruz, 2009; Sánchez Reyes, 2011), esta última realizada en Valladolid, continuándose en la actualidad con la presente Memoria Doctoral y el inicio de una nueva Tesis Doctoral en colaboración con el Centro de Investigaçã de Montanha (CIMO) del Instituto Politécnico de Bragança (IPB) y la Unidade Hospitalar de Bragança, perteneciente a la Unidade Local de Saúde do Nordeste, en Portugal.

Como puede observarse, la casi totalidad de los estudios relacionados con aerobiología en Salamanca están centrados en granos de polen, por lo que el contenido esporal de la atmósfera de la ciudad era casi desconocido, siendo necesario un estudio de estas partículas aerovagantes para determinar, tanto de forma cuantitativa como cualitativa, los tipos esporales que se hallan presentes en el aire de Salamanca y así contribuir al conocimiento aerobiológico y proporcionar información de utilidad para personas alérgicas y profesionales sanitarios.

➤ JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Los estudios aerobiológicos son abundantes alrededor del mundo y en España esta situación no es diferente. Existen gran cantidad de trabajos sobre la dinámica de los granos de polen en la atmósfera, estacionalidad y su relación con parámetros meteorológicos en prácticamente todos los territorios de la Península Ibérica. En Castilla y León, la distribución de artículos relacionados con la aerobiología es ligeramente desigual respecto a la proporción entre trabajos sobre granos de polen y esporas fúngicas, estando aquellas investigaciones publicadas años atrás, más centradas en partículas polínicas. Como se ha comentado en el capítulo introductorio, Salamanca es una ciudad que ha contribuido al conocimiento aerobiológico, pero el número de investigaciones realizadas considerando las esporas aerovagantes son más escasas, comparado con otras zonas de España donde este tipo de trabajos se realizan cada vez más frecuentemente (Martínez Bracero et al., 2019). Como se ha observado, el contenido polínico de la ciudad está bastante bien caracterizado, pero todo este conocimiento sobre granos de polen, se contrapone con la falta de investigación sobre esporas fúngicas; mientras que en otros lugares de Castilla y León sí que han tenido más relevancia los estudios sobre esporas, sobre todo en ciudades como Palencia (Herrero et al., 1996), León (Fernández et al., 1998) y más recientemente Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2007, 2009, 2012, 2016), como se ha mencionado en el apartado anterior.

Esta falta de información respecto al aerosol fúngico, planteó la necesidad de estudiar y cuantificar las esporas de hongos presentes en la atmósfera de Salamanca. Una vez analizado el contenido aeropalinológico de la ciudad, podrían realizarse investigaciones más detalladas sobre aquellos tipos esporales (y también polínicos) con una mayor influencia en los procesos alérgicos.

Con la presencia de dos captadores situados en entornos urbanos diferentes, se pudo obtener información para comparar la presencia de partículas en diferentes puntos y ambientes de la ciudad. Esto junto a la existencia de un trabajo anterior que comparaba ciertos tipos polínicos en dos áreas diferentes (Rodríguez de la Cruz et al., 2016), permitía realizar investigaciones con mayor información y comparar los resultados en periodos anuales diferentes.

Por último, el conocimiento sobre el comportamiento aerobiológico de las esporas de *Alternaria*, es un pilar que está tomándose en fuerte consideración en los últimos años, debido a la importancia que tiene desde el punto de vista clínico y a que su presencia en la atmósfera va siendo cada vez más frecuente debido a la gran variedad de sustratos en los que puede desarrollarse (Bardei et al., 2017; Escuredo et al., 2019). Por ello los datos obtenidos con los dos captadores podían utilizarse para cuantificar y comparar los niveles de *Alternaria* en áreas diferentes de la ciudad y por otro lado comparar estos resultados con otras investigaciones análogas realizadas tanto en España como alrededor del mundo (Infante et al., 1999; Kasprzyk & Worek, 2006; Sabariego et al., 2012).

Por tanto, con la finalidad de contribuir al conocimiento aerobiológico en la zona de Castilla y León, aportar información de interés para pacientes alérgicos y profesionales de la salud y completar investigaciones realizadas con anterioridad en la ciudad de Salamanca, se fijan para la presente Tesis Doctoral los siguientes objetivos:

- **Objetivos generales**

OG1: Reiniciar la captación y recogida de las partículas aerobiológicas presentes en la atmósfera de Salamanca durante dos años consecutivos (del 17 de febrero de 2014 al 16 de febrero de 2016), a fin de identificar y cuantificar el contenido de polen y esporas fúngicas.

OG2: Determinar las concentraciones máximas de granos de polen y esporas fúngicas presentes en la atmósfera de Salamanca, así como las fechas en las que se producen dichos valores pico.

OG3: Determinar el comportamiento estacional, estableciendo el inicio y duración del periodo principal de polinización y esporulación (PPP y PPE, respectivamente), así como el comportamiento intradiario de las partículas aerovagantes registradas en la atmósfera.

OG4: Analizar la influencia de los principales parámetros meteorológicos sobre el comportamiento aerobiológico de los granos de polen y esporas presentes en la atmósfera de Salamanca.

- **Objetivos específicos:**

OE1: Elaborar el calendario esporal de la ciudad de Salamanca, a fin de utilizarlo en futuras investigaciones aerobiológicas con aplicación al diagnóstico y tratamiento de enfermedades alérgicas.

OE2: Estudiar y evaluar las posibles diferencias en la concentración de partículas aerovagantes (polen y *Alternaria*) existentes entre dos zonas diferentes de la ciudad por medio del uso de dos captadores, uno propiedad de la Universidad de Salamanca, y el otro empleado por el Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario de Salamanca.

OE3: Comprobar las posibles diferencias respecto a las concentraciones de polen alérgico en la atmósfera de Salamanca con aquellos resultados obtenidos en estudios previos y tratar de identificar las causas de un aumento o disminución de los granos de polen hallados.

➤ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E., Caeiro, E., Todo Bom, A., Ferro, R., Dionísio, A., Duarte, A. & Gazarini, L. (2018). The influence of meteorological parameters on *Alternaria* and *Cladosporium* fungal spore concentrations in Beja (southern Portugal): Preliminary results. *Aerobiologia*, 34, 219–226.
- Armentia, A., Martín Armentia, S., Moral, A., Montejo, D., Martín Armentia, B., Sastre, R., Fernández, S., Corell, A. & Fernández, D. (2019). Molecular study of hypersensitivity to spores in adults and children from Castile & Leon. *Allergologia et immunopathologia*, 47, 350-356.
- Aydogdu, H. & Asan, A. (2008). Airborne fungi in child day care centers in Edirne City, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147, 423-444.
- Bardei, F., Bouziane, H., Trigo, M. M., Ajouray, N., El Haskouri, F. & Kadiri, M. (2017). Atmospheric concentrations and intradiurnal pattern of *Alternaria* and *Cladosporium* conidia in Tétouan (NW of Morocco). *Aerobiologia*, 33, 221–228.
- Bednarz, A. & Pawlowska, S. (2016). A fungal spore calendar for the atmosphere of Szczecin, Poland. *Acta Agrobotanica*, 69(3), 1669.
- Bilińska, D., Skjøth, C.A., Werner, M., Kryza, M., Malkiewicz, M., Krynicka, J. & Drzeniecka Osiadacz, A. (2017). Source regions of ragweed pollen arriving in south-western Poland and the influence of meteorological data on the HYSPLIT model results. *Aerobiologia*, 33, 315–326.
- Blanco, L. S., Hernández, S. L., Valencia Barrera, R. M., Vega Maray, A. M. & Fernández González, D. (2017). Estudio aerobiológico en dos poblaciones de la Sierra de Gredos (Sistema Central, España). *Revista de Salud Ambiental*, 17, 139-146.
- Campbell, B. C., Al Kouba, J., Timbrell, V., Noor, M., Massel, K., Gilding, E. K., Angel, N., Kemish, B., Hugenholtz, P., Godwin, I. D. & Davies, J. M. (2020). Tracking seasonal changes in diversity of pollen allergen exposure: Targeted metabarcoding of a subtropical aerobiome. *Science of the Total Environment*, 747(2020), 141189. <https://doi.org/10.1007/s10453-017-9471-9>.
- Caramiello, R., Siniscalco, C., Mercalli, L. & Potenza, A. (1994). The relationship between airborne pollen grains and unusual weather conditions in Turin (Italy) in 1989, 1990 and 1991. *Grana*, 33, 327-332.
- Cariñanos, P., Casares Porcel, M., Díaz de la Guardia, C., Aira, M. J., Belmonte, J., Boi, M., Elvira Rendueles, B., De Linares, C., Fernández Rodríguez, S., Maya Manzano, J. M., Pérez Badía, R., Rodríguez de la Cruz, D., Rodríguez Rajo, F. J., Rojo Úbeda, J., Romero Zarco, C., Sánchez Reyes, E., Sánchez, J., Tormo Molina, R. & Vega Maray, A. M. (2017). Assessing

allergenicity in urban parks: a nature-based solution to reduce the impact on public health. *Environmental Research*, 155, 219-227.

Charpin, H., Malea, M., Soler, M., Charpin, J., Grouffal, C. & Molina, C. (1973). Aeroplanyological and aeromycological study on atmosphere of Mont-Dore. *Revue Francaise d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 13, 308.

Coca, A. F. & Cooke, R. A. (1923). On the classification of the phenomena of hypersensitiveness. *Journal of Immunology*, 8, 163-182.

Damialis, A., Kaimakamis, E., Konoglou, M., Akritidis, I., Traidl Hoffmann, C. & Gioulekas, D. (2017). Estimating the abundance of airborne pollen and fungal spores at variable elevations using an aircraft: How high can they fly? *Scientific Reports*, 7, 44535.

Deamer, W. C. & Graham, H. W. (1947). Respiratory mold allergy-A 12 month's atmospheric survey in San Francisco. *California Medicine*, 66, 289-292.

Domínguez Vilches, E. (1992). The Spanish Aerobiology Network (REA). *Aerobiologia*, 8, 45-46.

Edmonds, R. L. & Benninghoff, W. S. (1973). Aerobiology: A new discipline for combating diseases, pests, and allergens. *US Component of the International Biological Program (Aerobiology Program)*.

Elvira Rendueles, B. (2019). Aeromicología: ¿por qué debe ser una parte esencial la Aerobiología? *Revista de Salud Ambiental*, 19, 124-127.

Elvira Rendueles, B., Moreno, J. M., Costa, I., Bañón, D., Martínez García, M. J. & Moreno Grau, S. (2019). Pollen calendars of Cartagena, Lorca, and Murcia (Region of Murcia), southeastern Iberian Peninsula: 2010–2017. *Aerobiologia*, 35, 477-496.

Erdtman, G. (1952). *Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms*. Almqvist and Wiksell, Stockholm, 539 pp.

Erdtman, G. (1966). *Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms*. (An introduction to Palynology I). Hafner Publishing Co., New York, 553 pp.

Escuredo, O., Seijo Rodríguez, A., Meno, L., Rodríguez Flores, M. S. & Seijo, M. C. (2019). Seasonal dynamics of *Alternaria* during the potato growing cycle and the influence of weather on the early blight disease in North-West Spain. *American Journal of Potato Research*, 96, 532-540.

Faegri, K. (1956). Recent trends in palynology. *The Botanical Review*, 22, 639-644.

- Fernández, D., Valencia, R. M., Molnár, T. Vega, A. & Sagüés E. (1998). Daily and seasonal variations of *Alternaria* and *Cladosporium* airborne spores in León (North-West, Spain). *Aerobiologia*, 14, 215-220.
- Fernández González, D., Valencia Barrera, R. M., Vega Maray, A. M., Sánchez Sánchez, J., Rodríguez de la Cruz, D., González Parrado, Z., Fuertes Rodríguez, C. R., Sánchez Reyes, E., Estrada Vélez, E. & Castro Alfageme, S. D. (2006). Desarrollo de la Red Aerobiológica de Castilla y León (RACYL). *Polen*, 16, 57-58.
- Fernández Rodríguez, S., Tormo Molina, R., Maya Manzano, J. M., Silva Palacios, I. & Gonzalo Garijo, Á. (2014). Comparative study of the effect of distance on the daily and hourly pollen counts in a city in the south-western Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 30, 173-187.
- Fernández Soto, R., Navarrete Rodríguez, E. M., Del Río Navarro, B. E., Sienna Monge, J. L., Meneses Sánchez, N. A. & Saucedo Ramírez, O. J. (2018). Fungal allergy: pattern of sensitization over the past 11 years. *Allergologia et Immunopathologia*, 46, 557-564.
- Fernstrom, A. & Goldblatt, M. (2013). Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *Journal of Pathogens*, 2013.
- Galán, C., Alcázar, P., Domínguez, E., Villamandos, F. & Infante, F. (1995a). Airborne pollen grain concentrations at two different heights. *Aerobiologia*, 11, 105-109.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2007). *Spanish aerobiology network (REA): Management and quality manual*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba 2007. www.uco.es/rea/infor_rea/manual_eng.pdf.
- Galán, C., Emberlin, J., Domínguez, E., Bryant, R. H. & Villamandos, F. (1995b). A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana*, 34, 189-198.
- Garrison, R. & Robertson, L. (1989). A comparative aeromycological survey of the atmospheric vs in-home fungal population of 31 homes in Fort Worth, Texas. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 83, 265-265.
- Gonzalo Garijo, M. A., Tormo Molina, R., Muñoz Rodríguez, A. F. & Silva Palacios, I. (2006). Differences in the spatial distribution of airborne pollen concentrations at different urban locations within a city. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 16, 37-43.
- González Parrado, Z., Fuertes Rodríguez, C. R., De Castro Alfageme, S., Vega Maray, A. M., Fernández González, D. & Valencia Barrera, R. M. (2009). Análisis de esporas fúngicas alergénicas en la atmósfera de León, Miranda de Ebro y Zamora (España). *Polen*, 19, 31-47.

- Gravesen, S. (1979). Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy*, 34, 135-154.
- Gregory, P. H. (1973). *The Microbiology of the atmosphere*. Edit. Leonard Hill. Plymouth, pp. 39-42.
- Haas, D., Habib, J., Luxner, J., Galler, H., Zarfel, G., Schlacher, R., Friedl, H. & Reinthaler, F. F. (2014). Comparison background levels of culturable fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in southeastern Austria. *Atmospheric Environment*, 98, 640–647.
- Hernández Prieto, M., Lorente Toledano, F., Romo Cortina, A., Dávila González, I., Laffond Yges, E. & Calvo Bullon, A. (1998). Pollen calendar of the city of Salamanca (Spain) aeropalynological analysis for 1981-1982 and 1991-1992. *Allergologia et immunopathologia*, 26, 209-222.
- Herrero, B., Fombella Blanco, M. A., Fernández González, D. & Valencia Barrera, R. M. (1996). Aerobiological study of fungal spores from Palencia (Spain). *Aerobiologia*, 12, 27-35.
- Hirst, J. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of applied Biology*, 39, 257-265.
- Hoebcke, L., Bruffaerts, N., Verstraeten, C., Delcloo, A., De Smedt, T., Packeu, A., Detandt, M. & Hendrickx, M. (2018). Thirty-four years of pollen monitoring: an evaluation of the temporal variation of pollen seasons in Belgium. *Aerobiologia*, 34, 139-155.
- Hyde, H. A. (1952). Studies in atmospheric pollen. V. A daily census of pollen at Cardiff for six years 1943-1948. *New Phytologist*, 51, 281-293.
- Ianovici, N. (2016). Atmospheric concentrations of selected allergenic fungal spores in relation to some meteorological factors, in Timișoara (Romania). *Aerobiologia*, 32, 139–156.
- İnceoğlu, Ö., Pinar, N. M., Şakiyan, N. & Sorkun, K. (1994). Airborne pollen concentration in Ankara, Turkey 1990–1993. *Grana*, 33, 158-161.
- Infante, F., Alba, F., Caño, M., Castro, A., Domínguez, E., Méndez, J. & Vega, A. (1999). A comparative study of the incidence of *Alternaria* conidia in the atmosphere of five Spanish cities. *Polen*, 10, 7-15.
- Karatzas, K., Tsiamis, A., Charalampopoulos, A., Damialis, A. & Vokou, D. (2019). Pollen season identification for three pollen taxa in Thessaloniki, Greece: a 30-year retrospective analysis. *Aerobiologia*, 35, 659-669.
- Kasprzyk, I., Rodinkova, V., Šaulienė, I., Ritenberga, O., Grinn Gofroń, A., Nowak, M., Sulborska, A., Kaczmarek, J., Weryszko Chmielewska, E., Bilous, E. & Jedryczka, M. (2015). Air pollution by allergenic spores of the genus *Alternaria* in the air of central and eastern Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 9260-9274.

- Kasprzyk, I. & Worek, M. (2006). Airborne fungal spores in urban and rural environments in Poland. *Aerobiologia*, 22, 169–176.
- Katotomichelakis, M., Nikolaidis, C., Makris, M., Proimos, E., Aggelides, X., Constantinidis, T. C., Papadakis, C. E. & Danielides, V. (2016). *Alternaria* and *Cladosporium* calendar of western Thrace: Relationship with allergic rhinitis symptoms. *Laryngoscope*, 126, E51-E56.
- Khattab, A. & Levetin, E. (2008). Effect of sampling height on the concentration of airborne fungal spores. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 101, 529-534.
- Lebowitz, M. D. & O'Rourke, M. K. (1991). The significance of air pollution in aerobiology. *Grana*, 30, 31-43.
- Lee, E., Lee, S. H., Kim, Y. H., Cho, H. J., Yoon, J., Yang, S. I., Jung, Y. H., Kim, H. Y., Seo, J. H., Kwon, J. W., Kim, H. B., Lee, S. Y., Kwon, H. J. & Hong, S. J. (2017). Association of atopy phenotypes with new development of asthma and bronchial hyperresponsiveness in school-aged children. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 118, 542-550.
- Lin, W. R., Wang, P. H., Tien, C. J., Chen, W. Y., Yu, Y. A. & Hsu, L. Y. (2018). Changes in airborne fungal flora along an urban to rural gradient. *Journal of Aerosol Sciences*, 116, 116-123.
- Magyar, D., Kállai, Z., Sipiecki, M., Dobolyi, C., Sebők, F., Beregszászi, T., Bihari, Z., Kredics, L. & Oros G. (2018). Survey of viable airborne fungi in wine cellars of Tokaj, Hungary. *Aerobiologia*, 34, 171–185.
- Marchesi, S. (2020). *Alternaria* spores in Emilia-Romagna, northern Italy: current diffusion and trends. *Aerobiologia*, 36, 31-36.
- Martínez Bracero, M., Alcázar, P., Velasco Jiménez, M. J. & Galán, C. (2019). Fungal spores affecting vineyards in Montilla-Moriles southern Spain. *European Journal of Plant Pathology*, 153, 1-13.
- Munuera, M., Carrión, J.S., Navarro, C., Orts, L., Espín, A., Sáez, F. & García, J. (2001). *Polen y alergias. Guía de las plantas de polen alergógeno de la Región de Murcia y España*. DM, Librero-Editor, Murcia, 194 pp.
- Nikkels, A. H., Terstegge, P. & Spieksma, F. T. M. (1996). Ten types of microscopically identifiable airborne fungal spores at Leiden, The Netherlands. *Aerobiologia*, 12, 107-112.
- Njokuocha, R. C., Osayi, E. E. & Ikegbunam, C. N. (2019). Diversity of airborne mycofloral abundance and allergenic fungal spores of Enugu North, Nigeria. *Aerobiologia*, 35, 177-194.
- O'Connor, D. J., Sadyś, M., Skjøth, C. A., Healy, D. A., Kennedy, R. & Sodeau, J. R. (2014). Atmospheric concentrations of *Alternaria*, *Cladosporium*, *Ganoderma* and *Didymella* spores

monitored in Cork (Ireland) and Worcester (England) during the summer of 2010. *Aerobiologia*, 30, 397–411.

Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L. & Abreu, I. (2009). Seasonal and intradiurnal variation of allergenic fungal spores in urban and rural areas of the North of Portugal. *Aerobiologia*, 25, 85-98.

Pani, S. K., Lin, N. H. & RavindraBabu, S. (2020). Association of COVID-19 pandemic with meteorological parameters over Singapore. *Science of the Total Environment*, 740 (2020), 140112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140112>.

Patel, T. Y., Buttner, M., Rivas, D., Cross, C., Bazylinski, D. A. & Seggev, J. (2018). Variation in airborne fungal spore concentrations among five monitoring locations in a desert urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 634.

Pathirane, L. (1975). Aerobiological literature in scientific periodicals. *Grana*, 15, 145-147.

Pérez Gorjón, S., Rodríguez de la Cruz, D., González Suárez, R. & Sánchez, J. (2003). Variación anual de esporas en la atmósfera de Salamanca durante los años 1995 y 2000. *Polen*, 13, 289–297.

Recio, M. (1999). Aerobiología: Breve introducción histórica. *Revista Española de Aerobiología*, (5), 9-11.

Reiss, J. (1972). Aeromycological investigations in West-Germany. I. Fungus spores in the air in sommer 1970. *Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene. Zweite naturwissenschaftliche Abt.: Allgemeine, landwirtschaftliche und technische Mikrobiologie*, 127, 210.

Rodríguez de la Cruz, D. (2009). *Estudio del contenido polínico en la atmósfera de la ciudad de Salamanca y su relación con los parámetros climatológicos y los cuadros clínicos de alergia* (Tesis Doctoral). Universidad de Salamanca, España.

Rodríguez de la Cruz, D., Dávila, I., Sánchez, E., Barber, D., Lorente, F. & Sánchez, J. (2011b). Relationship between airborne pollen counts and the results obtained using 2 diagnostic methods: Allergen-Specific Immunoglobulin E Concentrations and Skin Prick Tests. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 21, 222-228.

Rodríguez de la Cruz, D., Dávila, I., Sánchez, E., Lorente, F. & Sánchez, J. (2016). Comparison of pollen levels between 2 pollen traps in Salamanca, Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 26, 111-143.

Rodríguez de la Cruz, D., Martín Baz, A., Sánchez Reyes, E. & Sánchez, J. (2014). Aplicaciones de la aerobiología en el cultivo de la vid. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, (217), 92-96.

Rodríguez De la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., Dávila González, I., Lorente Toledano, F. & Sánchez Sánchez, J. (2010a). Airborne pollen calendar of Salamanca, Spain, 2000–2007. *Allergologia et immunopathologia*, 38, 307-312.

Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez, J. (2007). Análisis aerobiológico del polen de algunos taxa entomófilos en la ciudad de Salamanca. *Studia Botanica*, 26, 67-76.

Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2008). Aerobiological study of Fagaceae pollen in the middle-west of Spain. *Aerobiologia*, 24, 67-76.

Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes E. & Sánchez Sánchez, J. (2009). Effects of meteorological factors on airborne bracken (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.) spores in Salamanca (middle-west Spain). *International Journal of Biometeorology*, 53, 231-237.

Rodríguez de la Cruz D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2010b) Aerobiological notes of Amarantaceae-Chenopodiaceae pollen in the Middle-West of Spain. In *Pollen: Structure, Types and Effects* (pp. 341-350). Benjamin J. Kaiser, Nova Science Publishers, Inc.

Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2011a). Aerobiology of pteridophyta spores: Preliminary results and applications. In *Working with Ferns* (pp. 271-281). Springer, New York, NY.

Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2012a). Analysis of Chenopodiaceae-Amaranthaceae airborne pollen in Salamanca, Spain. *Turkish Journal of Botany*, 36, 336-343.

Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2012b). Incidence of *Echium* pollen in the Middle West of Iberian Peninsula: an unusual flowering period and its significance in aerobiological studies. *Aerobiologia*, 28, 317-323.

Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez, J. (2015). A contribution to the knowledge of Cupressaceae airborne pollen in the middle west of Spain. *Aerobiologia*, 31, 435-444.

Rodríguez de la Cruz, D., Suárez González, R., Pérez Gorjón, S. & Sánchez Sánchez, J. (2003). Estudio aerobiológico de la ciudad de Salamanca durante el año 2000. *Polen*, 13, 299-306.

Rojo, J., Oteros, J., Pérez Badia, R., Cervigón, P., Ferencova, Z., Gutiérrez Bustillo, A.M., Bergmann, K.C., Oliver, G., Thibaudon, M., Albertini, R., Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., Sánchez, J., Pessi, A.M., Reiniharju, J., Saarto, A., Calderón, M.C., Guerrero, C.,

- Berra, D., Bonini, M., Chiodini, E., Fernández González, D., García, J., Trigo, M.M., Myszkowska, D., Fernández González, S., Tormo Molina, R., Damialis, A., Kolek, F., Traidl Hoffmann, C., Severova, S., Caeiro, E., Ribeiro, H., Magyar, D., Makra, L., Udvardy, O., Alcázar, P., Galán, C., Borycka, K., Kasprzyk, I., Newbiggin, E., Adams Groom, B., Apangu, G.P., Frisk, C.A., Skjøth, C.A., Radisic, P., Šikoparija, B., Celenk, S., Schmidt Weber, C.B. & Buters, J. (2019). Near-ground effect of height on pollen exposure. *Environmental Research*, 174, 160-169.
- Sabariago, S., Bouso, V. & Pérez Badia, R. (2012). Comparative study of airborne *Alternaria* conidia levels in two cities in Castilla-La Mancha (central Spain), and correlations with weather-related variables. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19, 227-232.
- Sadyś, M. (2017). Effect of wind speed and direction on monthly fluctuations of *Cladosporium* conidia concentration in the air. *Aerobiologia*, 33, 445-456.
- Sadyś, M., Adams Groom, B., Herbert, R. J. & Kennedy, R. (2016). Comparisons of fungal spore distributions using air sampling at Worcester, England (2006-2010). *Aerobiologia*, 32, 619-634.
- Sáenz, C. (1978). *Polen y esporas (Introducción a la palinología y vocabulario palinológico)*. Edit. H. Blume. Madrid, 219 pp.
- Sánchez Reyes, E. (2003). *Estudio aeropalínológico de la ciudad de Salamanca durante el año 1996* (Tesis de Licenciatura). Universidad de Salamanca, España.
- Sánchez Reyes, E. (2011). *Estudio aeropalínológico de la ciudad de Valladolid durante los años 2005-2006 y su relación con los cuadros clínicos de alergia* (Tesis Doctoral). Universidad de Salamanca, España.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez Sánchez, J. (2006). Estudio aeropalínológico de la ciudad de Salamanca durante el año 1996. *Studia botanica*, 25, 103-112.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez Sánchez, J. (2007). Contenido atmosférico de esporas de *Ganoderma* P. Karst. en la atmósfera de Valladolid. *Polen*, 17, 39-49.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez Sánchez, J. (2012). Influencia de la temperatura sobre las concentraciones de esporas de *Periconia* s. l. en Valladolid (2005-2007). *Polen*, 22, 9-13.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez, J. (2016). First fungal spore calendar of the middle-west of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 32, 529-539.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, E. & Sánchez Sánchez, J. (2009). Meteorological and agricultural effects on airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores and

clinical aspects in Valladolid [Spain]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16, 53-61.

Ščevková, J. & Kováč, J. (2019). First fungal spore calendar for the atmosphere of Bratislava, Slovakia. *Aerobiologia*, 35, 343-356.

Sindt, C., Besancenot, J. P. & Thibaudon, M. (2016). Airborne *Cladosporium* fungal spores and climate change in France. *Aerobiologia*, 32, 53-68.

Skjøth, C. A., Damialis, A., Belmonte, J., De Linares, C., Fernández Rodríguez, S., Grinn Gofroń, A., Jędryczka, M., Kasprzyk, I., Magyar, D., Myszkowska, D., Oliver, G., Páldy, A., Pashley, C. H., Rasmussen, K., Satchwell, J., Thibaudon, M., Tormo Molina, R., Vokou, D., Ziemianin, M. & Werner, M. (2016). *Alternaria* spores in the air across Europe: abundance, seasonality and relationships with climate, meteorology and local environment. *Aerobiologia*, 32, 3-22.

Songnuan, W., Bunnag, C., Soontrapa, K., Pacharn, P., Wangthan, U., Siriwattanakul, U. & Malainual, N. (2018). Airborne fungal spore distribution in Bangkok, Thailand: correlation with meteorological variables and sensitization in allergic rhinitis patients. *Aerobiologia*, 34, 513-524.

Staffolani, L., Velasco Jiménez, M. J., Galán, C. & Hruska, K. (2011). Allergenicity of the ornamental urban flora: ecological and aerobiological analyses in Córdoba (Spain) and Ascoli Piceno (Italy). *Aerobiologia*, 27, 239-246.

Suárez González, R., Rodríguez de la Cruz, D., Pérez Gorjón, S. & Sánchez Sánchez, J. (2003). Estudio aerobiológico de la ciudad de Salamanca durante el año 1995. *Studia Botanica*, 22, 27-35.

Subiza, J., Jerez, M., Jiménez, J. A., Narganes, M. J., Cabrera, M., Varela, S. & Subiza, E. (1995). Allergenic pollen and pollinosis in Madrid. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 96, 15-23.

Szczepanek, K. (1994). Pollen calendar for Cracow (southern Poland), 1982-1991. *Aerobiologia*, 10, 65-70.

Vega Maray, A., Fernández González, D., Valencia Barrera, R. M., Santos, F. & Latasa, M. (2000). Aerobiología en Castilla y León: estación de León (1999). *REA*, 6, 67-70.

Velasco Jiménez, M. J., Alcázar, P., Domínguez Vilches, E. & Galán C. (2013). Comparative study of airborne pollen counts located in different areas of the city of Cordoba (south-western Spain). *Aerobiologia*, 29, 113-120.

Vélez Pereira, A. M., De Linares, C., Delgado, R. & Belmonte, J. (2016). Temporal trends of the airborne fungal spores in Catalonia (NE Spain), 1995-2013. *Aerobiologia*, 32, 23-37.

Weryszko Chmielewska, E., Piotrowska Weryszko, K. & Dąbrowska, A. (2019). Response of *Tilia* sp. L. to climate warming in urban conditions—Phenological and aerobiological studies. *Urban Forestry & Urban Greening*, 43, 126369.

Wodehouse, R.P. (1935). *Pollen grains. Their structure, identification and significance in science and medicine*. McGraw-Hill, New York, 574 pp.

Webgrafía:

Portal de Salud de Castilla y León (Sacyl). *Estaciones de medición*. (Último acceso: julio/2020). www.saludcastillayleon.es/es/polen.

Red Española de Aerobiología (REA). *Estaciones de muestreo de la Red Española de Aerobiología*. (Último acceso: junio/2020). www.uco.es/rea/infor_rea/estaciones.htm.

Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica (SEAIC). *Niveles ambientales de pólenes*. (Último acceso: junio/2020). www.polenes.com/home.

CAPÍTULO II

Material y métodos

'No basta con querer: debes preguntarte a ti mismo qué vas a hacer para conseguir lo que quieres'

- Franklin D. Roosevelt

➤ ÁREA DE ESTUDIO

• Localización geográfica

La comunidad autónoma de Castilla y León es la mayor en cuanto a extensión dentro de la Península Ibérica. Con sus más de 94.200 km², se encuentra ocupando el cuadrante noroccidental estando la provincia de Salamanca situada al suroeste y siendo la tercera más poblada tras León y Valladolid.

Atendiendo a su situación (fig. 2.1), la ciudad de Salamanca (40° 58' N; 5° 39' O), se encuentra a una altitud de 802 m.s.n.m. con una población de 144.228 habitantes (INE, 2019).

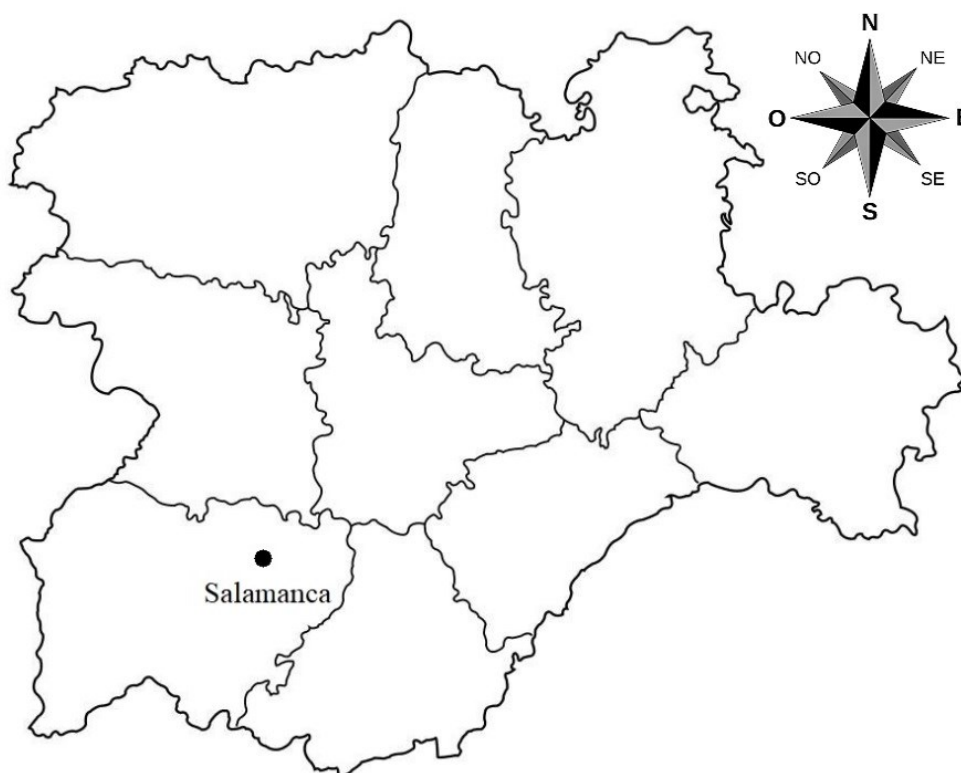


Figura 2. 1. Localización geográfica de Salamanca en Castilla y León.

El paisaje de la provincia de Salamanca es variado encontrándose zonas de cierta altitud como las sierras de Francia (punto más alto, la Peña de Francia (1735 m.s.n.m.) o la sierra de Béjar (punto más alto, el Canchal de la Ceja (2428 m.s.n.m.) en contraste con zonas de valle donde el punto más bajo es el salto de Saucelle en Las Arribes del Duero (116 m.s.n.m.). En la zona intermedia existen varios ecosistemas de los cuales el más característico es la dehesa, que ocupa el denominado Campo Charro. En otros puntos de la provincia se localizan áreas de llanura cerealística (La Armuña, Tierra de Peñaranda y parte de Alba de Tormes), así como zonas riparias del río Duero y sus afluentes Tormes, Huebra, Uces, Águeda y Yeltes.

- **Biogeografía**

Desde el punto de vista biogeográfico, la ciudad se encuentra dentro de la denominada Región Mediterránea (Rivas Martínez et al., 2017) y dentro de esta gran región que ocupa casi la totalidad de España, salvo las zonas más al norte que pertenecen a la Región Eurosiberiana, Salamanca se encuentra conformada por tres subprovincias. La que ocupa casi la gran mayoría de Salamanca es la subprovincia Carpetano-Leonesa, al sur encontramos una pequeña porción perteneciente a la subprovincia Luso-Extremadurensis y al noreste la subprovincia Castellana (fig. 2.2), según los últimos datos del Instituto Geográfico Nacional (I.G.N. 2019).

- ***Vegetación natural***

Conviene remarcar algunos aspectos relevantes sobre la vegetación potencial distribuida entre las provincias biogeográficas mencionadas anteriormente. No obstante se ha de tener en cuenta que en provincias colindantes a Salamanca, la diversidad en la vegetación supone un mosaico de paisajes, como el caso de los pinares de la provincia de Ávila, o las estepas cerealísticas situadas más al norte en la zona de Palencia, lo cual propicia la llegada de tipos de polen anemófilos desde estas zonas hasta el captador.

Subprovincia Luso-Extremadurensis: en varias zonas de la Sierra de Gata existe un melojar con madroños (*Arbutus unedo* L.) y durillos (*Viburnum tinus* L.), de la serie ***Arbutus unedo - Quercetum pyrenaicae***, en zonas donde la umbría es más frecuente siendo el clima más húmedo. Junto a esta formación, suele acompañarle un cortejo florístico formado por especies como *Asparagus acutifolius* L., *Asplenium onopteris* L., *Pistacia terebinthus* L. o *Ruscus aculeatus* L. Por estas mismas áreas pero a una altitud menor y con zonas más cálidas, existen alcornoques de ***Sanguisorbo agrimonioidis - Quercetum suberis***. También, sobre pizarras se desarrolla un encinar de ***Pyro bourgeanae - Quercetum rotundifoliae***, con especies acompañantes como *Olea europea* L. var. *sylvestris* y *Jasminum fruticans* L.

Subprovincia Carpetano-Leonesa: en esta sección se encuentran las cumbres más altas crioromediterráneas, encontrando la serie ***Agrostio rupestris - Armerieto bigerrensis***, caracterizada con la presencia de *Festuca indigesta* Boiss., junto con *Agrostis rupestris* All., *Armeria bigerrensis* (Pau ex C. Vicioso & Beltrán) Rivas Martínez o *Jasione crispa* subsp. *centralis* (Rivas Martínez) Rivas Martínez.

A menor altura ya situado en el piso oromediterráneo, encontramos la serie ***Cytiso oromediterranei - Echinoparteto pulviniformis***, mientras que en el piso supramediterráneo se halla la serie subhúmeda de melojo ***Luzula forsteri - Quercetum pyrenaicae***, caracterizada por la presencia de *Luzula forsteri* (Sm.) DC., *Lilium martagon* L. o *Milium vernale* Bieb., entre otros.

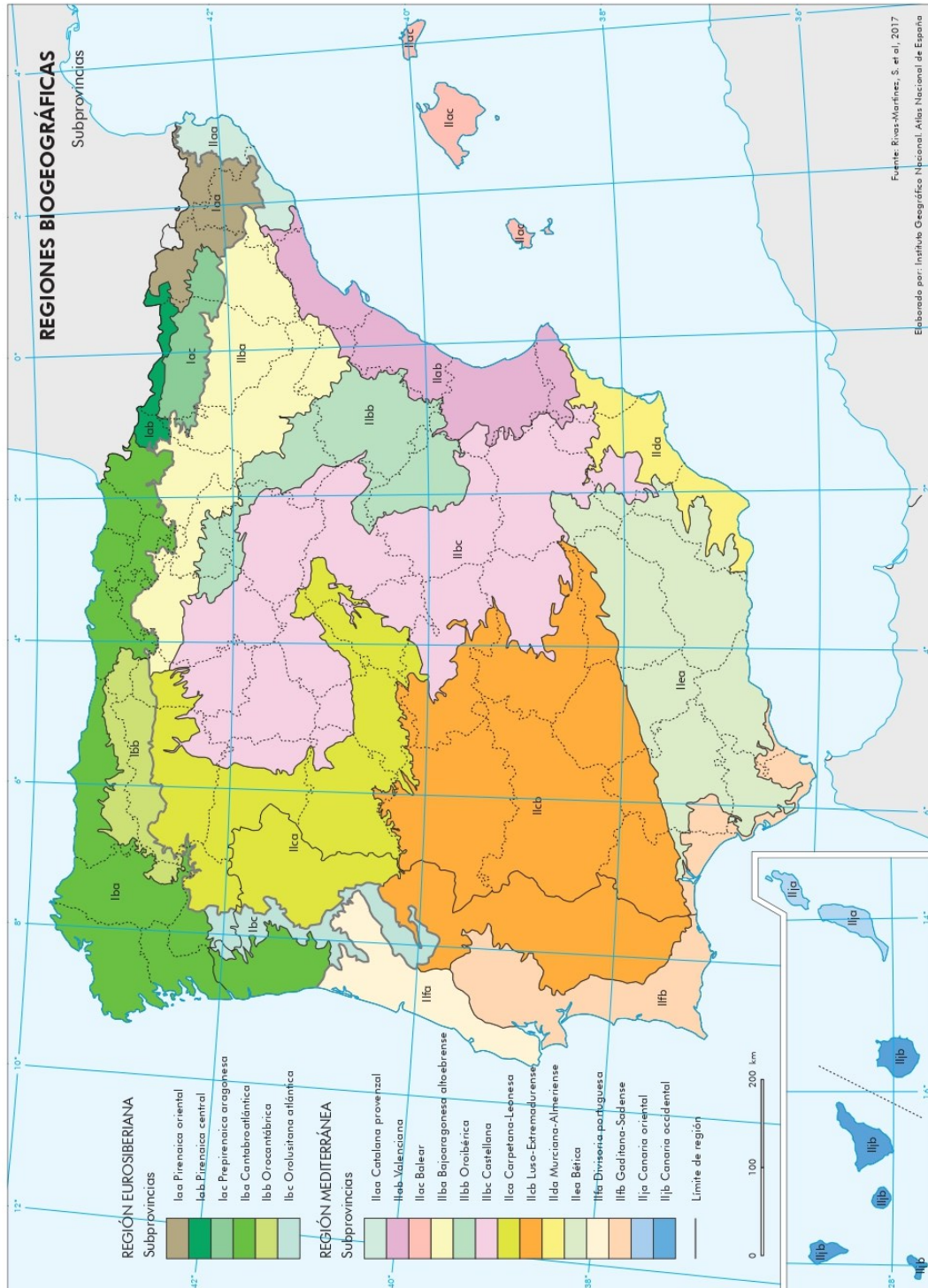


Figura 2. 2. Regiones biogeográficas de Salamanca (Rivas Martínez et al., 2017). Extraído del Atlas Nacional de España.

La serie *Genisto hystricis - Quercetum rotundifoliae* corresponde a un encinar abierto, muy típico en los paisajes castellano leoneses, donde la explotación ganadera que ha sufrido desde hace años, ha conducido a la formación de dehesas.

Subprovincia Castellana: localizada al noreste de la ciudad de Salamanca, se encuentra la serie *Junipero thuriferae - Quercetum rotundifoliae*, representada por encinares escasos, como el situado en La Orbada estando el resto de territorios dedicado a cultivos de leguminosas en su mayoría.

Por último, debido a la cercana localización del río Tormes, es obligado mencionar algunas de las comunidades riparias más comunes, teniendo por ejemplo formaciones mixtas de *Fraxinus angustifolia* Vahl., *Alnus glutinosa* Gaertn., *Salix fragilis* L. *Populus nigra* L. *Populus alba* L. y en menor medida *Ulmus minor* Mill.

- **Micoflora**

Debido a que la presente Tesis Doctoral cuenta con dos artículos científicos dedicados al aerosol fúngico (uno de ellos ya publicado y otro enviado para publicar), es importante mencionar algunas de las cuestiones relativas a los hongos presentes en la zona de estudio. Si bien no existen catálogos completos sobre la flora micológica de la ciudad y provincia de Salamanca, sí que existen algunos trabajos donde se aportan algunas primeras citas de macromicetos (Ladero et al., 1987; Calonge et al., 2000; García Jiménez et al., 2003; Hernández Melchor & Velasco Santos, 2007; Elena Vila, 2007). Los jardines y zonas verdes presentes a lo largo de las ciudades también son zonas en las que por su humedad, la abundancia de materia orgánica y el registro de temperaturas favorables, se desarrollan de manera frecuente ciertas especies de hongos (Sáenz & Gutiérrez, 2003) que, aunque no tengan impacto directo en la salud humana, suelen encontrarse en gran número en la atmósfera, como es el caso de *Agaricus* y *Coprinus*. Por otro lado, ciertos tipos esporales con influencia en los procesos alérgicos se hallan vinculados a ciertos sustratos u hospedadores, como es el caso de *Alternaria*, el cual requiere para su crecimiento y desarrollo de cultivos, estando su liberación propiciada por los procesos de cosechado. La provincia de Salamanca se encuentra al noreste, con los grandes campos de cultivos de las tierras de Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2009) y al sureste con la zona de Toledo, donde los hospedadores de este hongo se encuentran también en grandes extensiones (Sabariego et al., 2012). Otros tipos más ubicuistas como *Aspergillus/Penicillium* se han encontrado asociados con procesos de obras y demoliciones (Loeffert et al., 2018).

- **Climatología**

La meteorología influye de manera directa sobre los granos de polen y esporas fúngicas, bien variando y modificando su comportamiento en la atmósfera, bien actuando directamente sobre las fuentes de producción de estas partículas. Los factores meteorológicos más frecuentemente implicados en la producción y dispersión tanto de polen como de esporas son la temperatura, las precipitaciones y los vientos (Hasnain, 1993; Silva Palacios et al., 2000; Grinn Gofroñ & Bosiacka, 2015; Almeida et al., 2018). La temperatura tiene un efecto principalmente en las

fuentes de producción, permitiendo la maduración de las estructuras que liberan las partículas aerobiológicas (Fernández Martínez et al., 2012), mientras que la lluvia ocasiona una disminución de dichas partículas en la atmósfera, al realizar un efecto barrido sobre ellas (Artaç et al., 2014), depositándolas. Los vientos por otro lado son importantes en la dispersión a corta, media y larga distancia, pudiendo mover a cientos de kilómetros esporas y granos de polen.

De acuerdo a los datos facilitados por la Agencia estatal de Meteorología (AEMET), para un periodo de referencia medio de 30 años (1981-2010), con los datos obtenidos de la estación meteorología Salamanca-Matacán (40° 57' 34''N; 5° 29' 54''O), localizada a 15 kilómetros de la ciudad, el clima de Salamanca se define como Mediterráneo Continental frío templado (Capel Molina, 2000), caracterizado por inviernos largos con periodos de helada a lo largo del año, excepto en verano donde hay una estación seca, lo que ocasiona frecuentes sequías. La temperatura media anual es de 12,2°C mientras que la temperatura media máxima anual es de 18,7°C (siendo julio el mes más cálido, con una media mensual de 20,0°C) y la temperatura media mínima anual es de 5,6°C (siendo el mes más frío febrero con una media mensual de -0,2°C). Las precipitaciones anuales son escasas, con una media de 372 mm, pudiendo distinguirse una clara estación seca durante los meses de julio y agosto (fig. 2.3), estando las precipitaciones registradas durante este periodo asociadas a tormentas de verano. Los meses donde se recoge mayor cantidad de lluvias son mayo (47 mm), octubre (46 mm), diciembre (42 mm), noviembre (40 mm) y abril (38 mm).

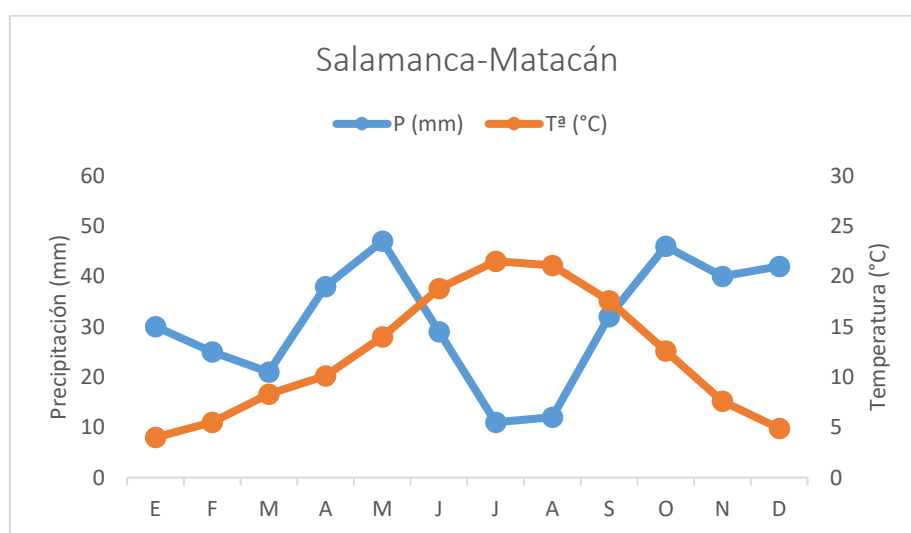


Figura 2. 3. Climograma de la ciudad de Salamanca durante el periodo de referencia medio (1981-2010).

Según la clasificación establecida por Rivas Martínez (1987) Salamanca corresponde, por sus variables ambientales, a un termotipo supramediterráneo inferior (índice de Termicidad iT = 193) y un ombroclima seco, acorde a las precipitaciones anuales totales (372).

➤ RECOGIDA Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS AEROBIOLÓGICAS

A continuación se describe el método de captura y procesado del contenido aerobiológico en la atmósfera siguiendo la metodología establecida por la Red Española de Aerobiología (REA) (Galán et al., 2007).

- **Captación de las partículas aerobiológicas**

Para la recogida de partículas en nuestro estudio se utilizó un captador volumétrico de tipo Hirst, modelo VPPS 2000 (Lanzoni s. r. l. ®) (imagen 2.1), situado en la azotea de la Facultad de Farmacia, a 25 metros de altura. Para la publicación de los capítulos de comparativa de datos aerobiológicos entre zonas de la ciudad, además se tuvo en cuenta la información aerobiológica obtenida mediante un captador tipo Burkard (Burkard Manufacturing Co Ltd), situado en un edificio histórico del centro de la ciudad, a una altura de 14 metros. Este captador es propiedad del Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario de Salamanca, estando al cargo de su mantenimiento, recogida de muestras y análisis de las mismas.



Imagen 2. 1. Captador volumétrico tipo Hirst, modelo VPPS 2000 (Lanzoni s. r. l. ®).

Ambos captadores se rigen por el principio de impacto establecido por Hirst (1952), por el cual una bomba de vacío succiona aire a través de un orificio, con un flujo constante de 10 litros/minuto, equivalente al funcionamiento de un pulmón humano en condiciones normales. El aire aspirado pasa al interior del captador donde un tambor contiene enrollada una cinta adhesiva de Melinex en la cual quedan adheridas todas las partículas que el aparato succione (imagen 2.2). El tambor está conectado a su vez a un mecanismo de relojería que lo desplaza 2 mm cada hora, lo que permite obtener los datos horarios a lo largo de una semana (autonomía de la que dispone

el reloj). Para ello, este mecanismo debe activarse manualmente por medio de una llave especial al finalizar la semana así como comprobarse el correcto flujo de aire al interior, con el aparato medidor de flujo. Tras la realización del cambio del tambor, este debe guardarse en un recipiente hermético creado para tal fin, con motivo de evitar cualquier contaminación en el transporte hasta el laboratorio.



Imagen 2. 2. *Detalle del mecanismo de relojería del tambor.*

Una vez en el lugar de trabajo, se procede a la separación de la cinta de Melinex y a su preparación para el posterior análisis del contenido aerobiológico recogido (imagen 2.3).



Imagen 2. 3. *Material empleado para el montaje de muestras palinológicas.*

La sustancia adhesiva que impregna la cinta de Melinex inicialmente se trataba de una silicona distribuida por la marca Lanzoni s. r. l. ®, la cual era un producto de silicona pura diluida en Tetracloruro de Carbono (CCl₄) (imagen 2.4). Debido a que el Tetracloruro de Carbono dejó de producirse y se limitó su uso, a causa de los efectos dañinos para el medio ambiente y por su potencialidad cancerígena (Manibusan et al., 2007), hubo que optar por utilizar otro disolvente de similares características, que mantuviera los estándares recogidos en el protocolo de la REA:

Ser insoluble en agua; no evaporarse ni secarse; el grosor de la película debe permanecer inalterable en el tiempo; buena capacidad de retención; debe evitar el crecimiento de hongos y bacterias; fácil de utilizar y no debe ser opaco a la luz del microscopio.

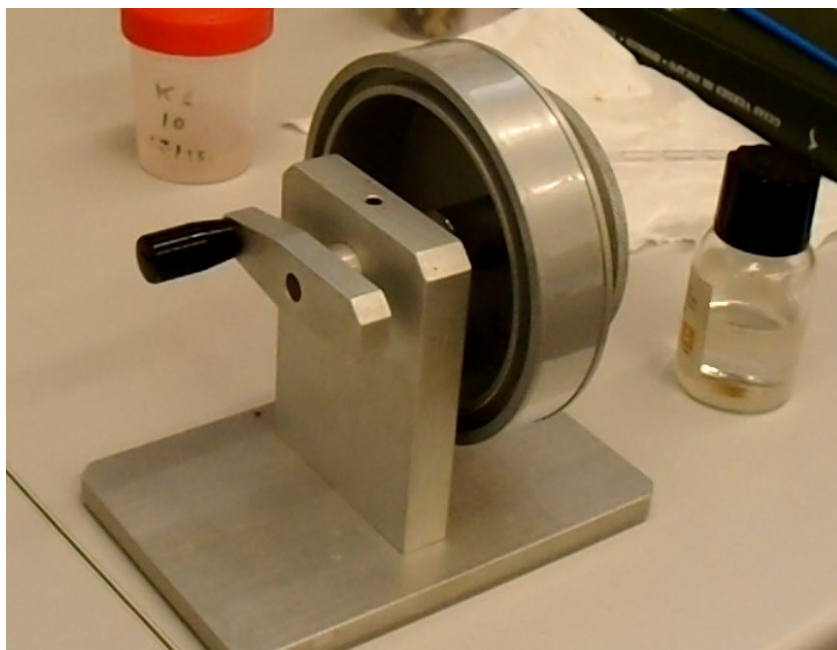


Imagen 2. 4. Detalle del montaje del tambor e impregnación con el adhesivo.

Tras la realización de varias pruebas y experimentos (Thibaudon et al., 2015; Trigo et al., 2015) se propusieron varios disolventes como sustituto del Tetracloruro de Carbono, siendo el Ciclohexano (C₆H₁₂) uno de los propuestos. Los estudios realizados comparándolo con el Tetracloruro no obtuvieron diferencias entre ambos compuestos lo que lo convierte en apto para su utilización en los muestreos aerobiológicos (Gharbi et al., 2019). El procedimiento actual para fabricar la sustancia adhesiva es, por tanto, el siguiente:

| |
|---|
| <p>Poner 10 g. de silicona en un bote de vidrio. Añadir 500 ml de ciclohexano. Agitar manualmente la botella hasta disolución completa de la silicona. Dejar reposar un día y agitar de nuevo al día siguiente.</p> |
|---|

Debido a que este cambio en el adhesivo empleado surgió con posterioridad a la edición del Manual de Calidad de la REA, no viene especificado en el mismo.

- **Preparación y lectura de las muestras**

El proceso de montaje de las preparaciones puede apreciarse en la figura 2.4. Para ello, se debe disponer de una regla de metacrilato transparente, con una serie de muescas o hendiduras que nos permiten cortar la cinta en fragmentos de 48 mm de longitud, lo que corresponde a 24 horas de un muestreo continuo. Estos fragmentos deberán situarse sobre portaobjetos para su análisis a microscopía óptica. Es importante que los distintos segmentos se sitúen en el orden sucesivo de fechas, ya que cada fragmento de cinta contiene los datos correspondientes a dos días naturales no completos y la alteración de dicho orden ocasionaría errores en los datos. Una vez están dispuestos siete fragmentos sobre sus correspondientes portaobjetos, se aplica una sustancia que permite fijar la muestra y teñir de manera selectiva el material a analizar. La sustancia empleada es glicerogelatina con fucsina, que permite fijar la muestra además de contribuir a una mejor identificación de los granos de polen. Una vez la glicerogelatina haya vuelto al estado sólido (necesita licuarse para su aplicación, para lo que se introduce unos minutos al baño María), se etiquetan las muestras (al incluir cada preparación datos de dos días, la fecha indicada corresponde al primero de esos dos días) y se sellan para evitar el deterioro de las mismas el máximo tiempo posible. Para este propósito se utiliza laca-esmalte transparente.

Cuando tenemos las muestras perfectamente secas y la glicerogelatina ha solidificado junto con la fucsina que ha teñido los granos de polen, se procede a su análisis por medio de la identificación y el conteo directo a microscopía. Para nuestro estudio se utilizó un microscopio óptico marca Olympus BX-41a 40x10 aumentos. Para contabilizar de la mejor manera posible los datos correspondientes a cada franja horaria, se situó debajo de cada preparación una plantilla en papel de acetato, la cual ha sido diseñada con 24 líneas verticales situadas cada 2 mm.

Para la identificación y determinación de las diferentes partículas aerovagantes (granos de polen y esporas fúngicas), se han utilizado diversas claves y trabajos aeropalinológicos como Valdés et al. (1987), Grant Smith (2000), Gutiérrez et al. (2001), La Serna Ramos & Domínguez Santana (2003) y Sáenz & Gutiérrez (2003), además de utilizar la palinoteca y esporoteca previamente construida del Grupo de Palinología y Conservación Vegetal del Instituto Hispano Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE) de la Universidad de Salamanca.

Debido a que el análisis completo de la cinta, conllevaría gran cantidad de tiempo y en muchos casos la información no estaría disponible cuando se requiriera, lo recomendado es hacer un submuestreo. Según la normativa de la Red Europea de Aeroalérgenos (EAN), el área seleccionada para un correcto análisis debe considerar, al menos, el 10% del total de la preparación. Para ello, lo establecido dentro de la Red Española de Aerobiología es utilizar el método en el que se realizan cuatro barridos horizontales continuados a lo largo del portaobjetos bajo el objetivo de 40x10 aumentos. Dichos barridos deben ser equidistantes entre sí y de los bordes de la

preparación. De esta manera el área analizada corresponde a un 12-13% del total dependiendo de la amplitud de campo del microscopio utilizado.

Todos los elementos que se van contando se van transcribiendo a unas hojas de papel creadas para tal efecto donde queda recogida la cantidad de granos de polen o esporas contadas clasificándolas según su tipo polínico o esporal en cada una de las horas del día (fig. 2.5, 2.6). Una vez finalizado el análisis de la muestra, con sus cuatro barridos, se suman los totales para cada partícula (granos de polen y esporas en nuestro caso), disponiendo del total para cada día analizado.

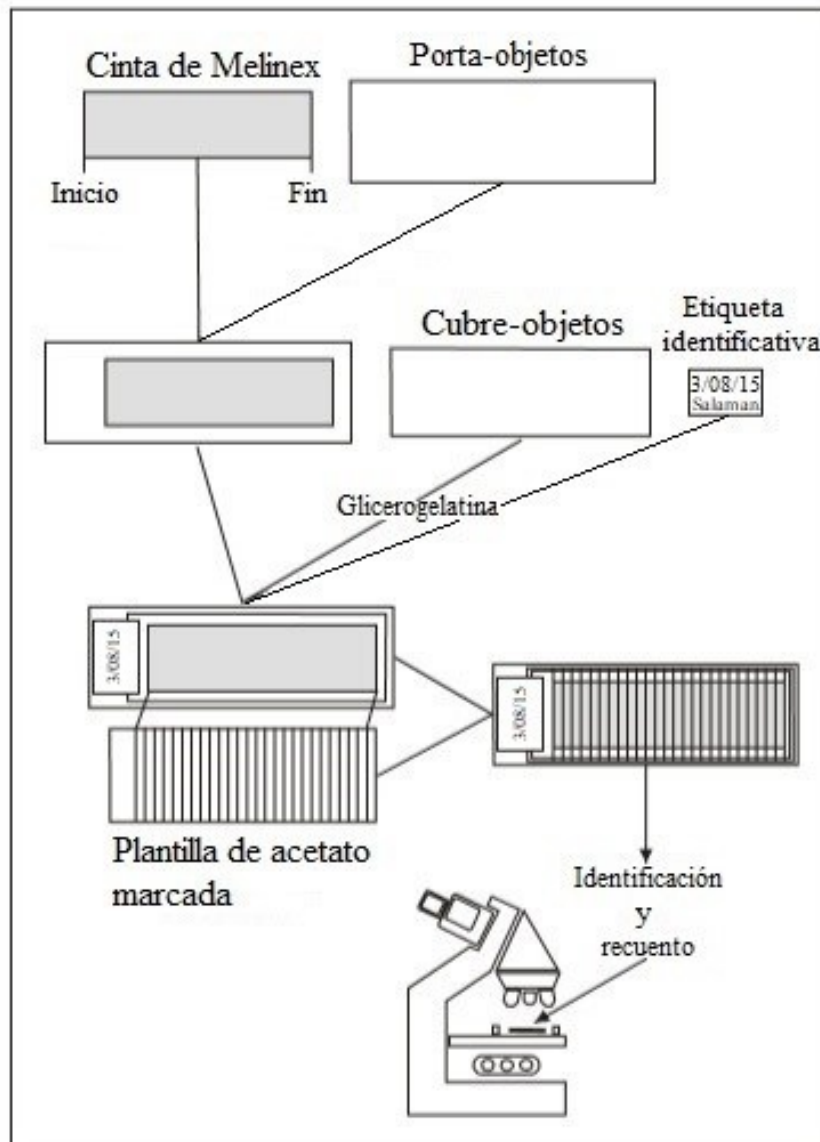


Figura 2. 4. Montaje de las muestras para microscopía.

Debido a que la concentración polínica/esporal debe expresarse por metro cúbico de aire, las cantidades obtenidas en el análisis deben multiplicarse por un factor que tiene en cuenta tanto el volumen de aire succionado como la amplitud de campo del microscopio utilizado. Este factor se denomina factor de corrección y es diferente de un microscopio a otro.

- **Cálculo del Factor de corrección (FC)**

La obtención de esta constante se realiza mediante la siguiente formula:

$$FC = \left(A_m / A_a \right) / V$$

Dónde: A_m , es el área total de la muestra

A_a , es el área analizada

V , es el volumen de aire aspirado

El área total de la muestra se calcula multiplicando la longitud diaria de la cinta (l), por su anchura (L).

$$A_m = l \times L = 48 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} = 672 \text{ mm}^2$$

Sin embargo, el área real que analizamos es la obtenida al multiplicar la longitud de cada barrido (l) por la anchura de cada barrido (w), que se corresponde con la amplitud de campo del microscopio. En este caso y para el microscopio Olympus Bx41 la amplitud de campo es de 0.55 mm realizada con una plantilla graduada y verificado con el manual del microscopio (Olympus BX41 System microscope, 2001). Todo ello se multiplica por el número de barridos realizados, siendo cuatro en este caso, y así el área real analizada es:

$$A_a = l \times W \times 4 = 48 \text{ mm} \times 0,55 \text{ mm} \times 4 = 105,6 \text{ mm}^2$$

Restaría conocer la cantidad de aire que incide sobre la cinta en un día o lo que es lo mismo, el volumen de aire aspirado. Teniendo en cuenta que el captador actúa como un pulmón humano cuyo flujo es de 10 litros por minutos, podemos saber el volumen aspirado en un día mediante la fórmula:

$$V = 10 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}} \cdot \left(24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \right) \cdot \left(10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{litros}} \right) = 14,4 \text{ m}^3$$

Ahora sustituyendo los valores obtenidos en la formula inicial, el factor de corrección para nuestro análisis será:

$$FC = \left(\frac{672 \text{ mm}^2}{105,6 \text{ mm}^2} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ m}^3}{14,4 \text{ m}^3} \right) = 0,44$$

| Taxa/hora | 0.1 | 1.2 | 2.3 | 3.4 | 4.5 | 5.6 | 6.7 | 7.8 | 8.9 | 9.10 | 10.11 | 11.12 | 12.13 | 13.14 | 14.15 | 15.16 | 16.17 | 17.18 | 18.19 | 19.20 | 20.21 | 21.22 | 22.23 | 23.24 | Total | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Acer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ailanthus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alnus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Artemisia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Asteraceae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Betula | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Castanea | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cedrus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chen/Amia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corylus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cupressaceae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Echium | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ericaceae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fraxinus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juglans | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ligustrum | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Olea | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pinus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plantago | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Platanus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poaceae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Populus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Quercus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rumex | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Salix | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tilia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ulmus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Urticaceae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indeter. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 2. 5. Plantilla diaria para el contenido polínico de la atmósfera de Salamanca.

| Taxa/hora | 01 | 1.2 | 2.3 | 3.4 | 4.5 | 5.6 | 6.7 | 7.8 | 8.9 | 9.10 | 10.11 | 11.12 | 12.13 | 13.14 | 14.15 | 15.16 | 16.17 | 17.18 | 18.19 | 19.20 | 20.21 | 21.22 | 22.23 | 23.24 | Total | | |
|-------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| Agaricus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Agrocybe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altemaria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ascospora | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bovista | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cladoop. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coprinus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Drechlera | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Epicoccum | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ganoderma | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Leptosphaer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mixomycete | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oidium | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Periconia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Phaeosphae | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Phylacteria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pleospora | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stemphyli | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Torula | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ustilago | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indeter. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 2. 6. Plantilla diaria para el contenido de esporas fúngicas en la atmósfera de Salamanca.

➤ TRATAMIENTO DE LOS DATOS: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Las diferentes esporas y granos de polen registrados se han agrupado en varias categorías en función de su porcentaje de representación total, permitiendo realizar diferentes análisis, como se muestra a continuación:

Esporas fúngicas

- Porcentaje de representación medio igual o superior al 1% (*Agaricus*, *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Epiccocum*, *Ganoderma*, *Letosphaeria*, *Periconia* y *Pleospora*).

Se llevó a cabo el estudio de la variación estacional (PPE calculado al 90%), así como el análisis del comportamiento intradiario y la correlación con parámetros meteorológicos.

- Porcentaje de representación entre 0,9% y 0,1% (*Agrocybe*, *Ascosporas*, *Bovista*, *Deightoniella*, *Dreschlera*, *Myxomycetes*, *Oidium*, *Phaeosphaeria*, *Phylacteria*, *Stemphylium* y *Torula*).

Se llevó a cabo el estudio de la variación estacional (PPE calculado al 90%).

- Porcentaje inferior al 0,09% (*Ascobolus*, *Caloplaca*, *Capronia*, *Cercospora*, *Cerebella*, *Chaetomium*, *Curvularia*, *Diatrypaceae*, *Entoloma*, *Exosporium*, *Fossombronia*, *Fusarium*, *Helicoma*, *Helminthosporium*, *Inocybe*, *Isthmospora*, *Leptosphaerulina*, *Lophiostoma*, *Massarina*, *Nigrospora*, *Octospora*, *Paraphaeosphaeria*, *Passalora*, *Peronospora*, *Polythrincium*, *Pteridium*, *Puccinia*, *Pithomyces*, *Saccobolus*, *Spegazzinia*, *Spondillocladiella*, *Sporormiella*, *Tilletia*, *Ustilago*, *Venturia* y *Xilariaceae*).

A causa de la baja representatividad de esta categoría y al hecho de aparecer muchas de ellas solamente durante uno de los dos años resultando en apenas un par de esporas, se optó por mencionar simplemente las diferentes esporas identificadas.

Granos de polen

- Porcentaje de representatividad medio igual o superior al 0,5% (*Acer*, *Alnus*, *Amaranthaceae*, *Cupressaceae*, *Ericaceae*, *Fraxinus*, *Olea*, *Papaveraceae*, *Pinus*, *Plantago*, *Platanus*, *Poaceae*, *Populus*, *Quercus*, *Rumex*, *Salix* y *Urticaceae*).

Se llevó a cabo el estudio de la variación estacional (PPP calculado al 90%), así como el análisis del comportamiento intradiario y la correlación con parámetros meteorológicos.

- Porcentaje de representación medio entre 0,4% y 0,05% (*Ailanthus*, Apiaceae, *Artemisia*, Asteraceae (a excepción de *Ambrosia* y Liguliflora), *Betula*, *Cedrus*, *Corylus*, Cyperaceae, *Echium*, *Junglans*, Liguliflora, *Ligustrum*, Rosaceae, Thymelaceae y *Ulmus*).

Se llevó a cabo el estudio de la variación estacional (PPP calculado al 90%).

- Porcentaje de representatividad medio inferior al 0,05% (*Acacia*, *Ambrosia*, *Cannabis*, Caryophyllaceae, *Castanea*, Fabaceae, *Helianthus*, Juncaceae, Myrtaceae, Rhamnaceae, *Robinia*, Rubiaceae, *Sambucus*, *Tilia* y *Typha*).

A causa de la baja representatividad de esta categoría de granos de polen se optó por realizar un comentario general de su comportamiento.

A la hora de afrontar el análisis de ciertos tipos polínicos, nos encontramos con el problema de su distribución, diferente al de la mayoría de partículas. Este es el caso de las especies con una distribución más invernal como *Alnus*, *Corylus*, Cupressaceae y *Fraxinus*, los cuales suelen tener una distribución que inicia entre diciembre y enero, estando sus máximos representados entre esos meses, en algunos casos llegando incluso a febrero. Debido a que nuestro muestreo comenzó y finalizó en la segunda mitad de febrero, los datos correspondientes a estas especies quedaban situados entre dos años. Esto daba lugar, a la hora de realizar el cálculo de su Periodo Principal de Polinización (PPP), a una duración irreal de los mismos no reflejándose el periodo de mayor abundancia en la atmósfera. Como se verá en el apartado **Cálculo del periodo principal**, existen varios métodos para calcular la duración del periodo, pero en estos cuatro tipos de polen, los resultados eran similares, independientemente del método utilizado. Por este motivo no se realizó el análisis de su PPP, aunque sí que se calcularon los días pico para ellos tanto la fecha en la que se establecieron como la concentración que alcanzaron.

Gracias a los datos obtenidos por el captador del Servicio de Inmunoalergias, pudimos comparar entre dos zonas de la ciudad, la información polínica (y esporal en el caso de *Alternaria*) que podía influir de manera diferente sobre la población alérgica. En este caso, solamente se contemplaron ciertos tipos polínicos de interés alergénico para la población. Para tratar más en profundidad la influencia de dichas partículas, se recurrió a los índices o niveles de riesgo, por los cuales se establecen una serie de concentraciones medias diarias a partir de las cuales las partículas pueden tener influencia en la salud humana.

A pesar de que *Fraxinus* no se encuentra contemplado en ningún grupo de estos cuatro, se optó por incluirlo en el grupo 3, como ya hicieran otros investigadores previamente (Rodríguez de la cruz et al., 2016).

Los niveles fueron establecidos por Galán y colaboradores (2007) en cuatro grupos, con cuatro categorías cada uno, tal y como se indica a continuación:

Grupo 1:

- Categorías: Nulo: <1 grano/m³
Bajo: 1-15 granos/m³
Moderado: 16-30 granos/m³
Altos: >30 granos/m³

Tipos polínicos incluidos: *Apiaceae*, *Brassicaceae*, *Cannabis*, *Echium*, *Fabaceae*, *Mercurialis*, *Parietaria* y *Urtica membranacea*.

Grupo 2:

- Categorías: Nulo: <1 grano/m³
Bajo: 1-25 granos/m³
Moderado: 26-50 granos/m³
Altos: >50 granos/m³

Tipos polínicos incluidos: *Amaranthaceae*, *Artemisia*, *Asteraceae*, *Ericaceae*, *Helianthus*, *Plantago*, *Poaceae* y *Rumex*.

Grupo 3:

- Categorías: Nulo: <1grano/m³
Bajo: 1-30 granos/m³
Moderado: 31-50 granos/m³
Altos: >50granos/m³

Tipos polínicos incluidos: *Acer*, *Alnus*, *Betula*, *Castanea*, *Casuarina*, *Corylus*, *Eucalyptus*, *Fraxinus*, *Ligustrum*, *Populus* y *Ulmus*.

Grupo 4:

- Categorías: Nulo: <1 grano/m³
Bajo: 1-50 granos /m³
Moderado: 51-200 granos/m³
Altos: >200 granos/m³

Tipos polínicos incluidos: *Olea*, *Cupressus*, *Platanus*, *Populus*, *Quercus* y *Pinus*.

En el caso de las esporas fúngicas no hay un sistema único para determinar los niveles de influencia para la salud humana. Las esporas cuyos límites de riesgo aparecen más frecuentemente en la bibliografía, son además las más abundantes que podemos encontrar en la atmósfera: *Alternaria* y *Cladosporium*. En el caso de *Cladosporium* suelen utilizarse varios criterios que

oscilan entre 3000 esporas/m³ (Gravesen, 1979) y 4000 esporas/m³ (Anon, 2002). Para *Alternaria* existen mayor variabilidad, desde una clasificación en cinco niveles según la abundancia de *Alternaria* (Munuera Giner et al., 2001), un umbral de 50 esporas/m³ (Frankland & Davies, 1965) o el criterio más utilizado, el de 100 esporas/m³ (Gravesen, 1979). Para esta investigación se siguió este último método de cara a comparar resultados similares con otras investigaciones recientes (Martínez Blanco et al., 2016; Grinn Gofroñ et al., 2019; Olsen et al., 2019).

- Calendario esporal

Uno de los objetivos principales de la investigación era la elaboración de un calendario de esporas, el primero para esta ciudad. Gracias a ello se puede observar de forma fácil y gráfica la aparición de diferentes tipos esporales y su permanencia en la atmósfera a lo largo de los meses. Consideramos el periodo analizado (dos anualidades) como una aproximación preliminar con el fin de determinar así, el comportamiento aerobiológico de los tipos esporales presentes en la atmósfera de Salamanca. Para su obtención se tuvieron en cuenta aquellas esporas que alcanzaron una concentración decenal media igual o superior a 1 espora/m³. Para su elaboración se tuvo en cuenta una clasificación que atiende a las clases exponenciales propuestas por Spieksma (1991), pero adaptadas a esporas fúngicas, como ya se hiciera en otras investigaciones previas (Sánchez Reyes et al., 2016) tal y como puede apreciarse en la figura 2.7:

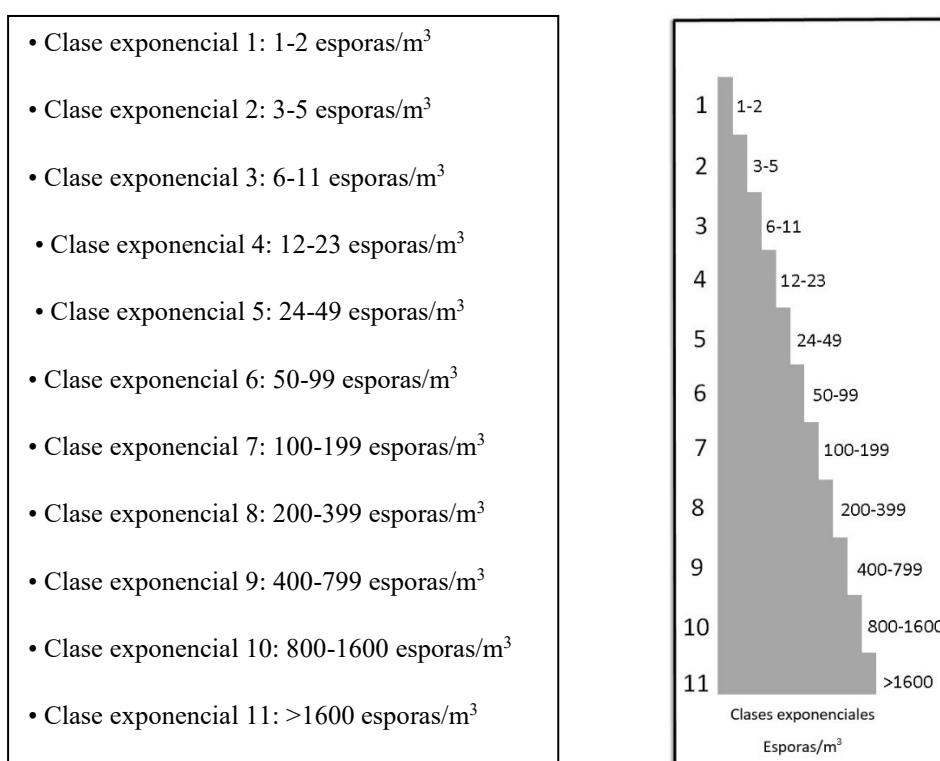


Figura 2. 7. Modelo de Spieksma (1991) y clases exponenciales adaptadas a esporas.

- **Cálculo del periodo principal de esporas y periodo principal de polinización**

Una vez hemos identificado y cuantificado los datos polínicos y esporales del periodo de estudio seleccionado, necesitamos acotar ciertos periodos para que los resultados acerca de su comportamiento, correlaciones, etc, se ajusten de la mejor manera posible al periodo principal de presencia de las partículas aerobiológicas. Con motivo de que no interfieran en los análisis aquellos días en los que no se registran granos de polen o esporas o lo hagan en cantidades mínimas, se calculó el Periodo Principal de Polinización (PPP) y el Periodo Principal de Esporulación (PPE). Estos intervalos comprenden una determinada franja temporal en la cual los valores de partículas aerovagantes se encuentran en su máxima presencia, desde que comienzan a producirse y liberarse a la atmósfera, alcanzando su valor pico para posteriormente disminuir.

Los métodos para el cálculo de estos dos periodos (PPP y PPE) son diversos existiendo varias metodologías para su aplicación. El más utilizado en el caso de esporas y para tipos polínicos abundantes, suele ser el modelo de Nilsson & Persson (1981) por el cual se define el periodo principal que tiene su inicio el día en que se captura el 5% de las concentraciones medias diarias y el final el día en que dichas concentraciones alcanzan el 95%, abarcando de esta manera el periodo donde se concentra el 90% del total acumulado, tanto de polen como esporas. El modelo propuesto por Andersen (1991) tiene en cuenta el día de inicio donde se alcanza el 2,5% de las concentraciones totales y el final cuando se ha recogido el 97,5%, tediendo de esta manera un periodo que contempla el 95% del total anual. La propuesta de Galán y colaboradores (1995), considera el inicio en el momento donde se registra el 1% del total anual y el final cuando se alcanza el 99%, teniendo de esta manera un periodo principal comprendido al 98%. Otro modelo es el de Jäger y colaboradores (1996), el cual considera el inicio del periodo principal cuando la concentración de polen registrada excede el 1% del total anual, siempre que no haya seis días continuados con un valor de presencia cero, estando el final establecido el día en el que se registra el 95% del total anual.

El método utilizado en este estudio, tanto para polen como para esporas, fue el establecido por Nilsson y Persson que permite establecer el periodo principal al 90%. Se optó por el PPP y PPE al 90% debido a que es el método seguido en las investigaciones más recientes y por grupos de investigación de diversas partes del mundo, lo que nos permitió obtener bibliografía actualizada de cara a comentar y comparar nuestros resultados (Ščevková et al., 2015; Fernández Rodríguez et al., 2016; Aira et al., 2018; Rodríguez de la Cruz et al., 2020).

La representación de la estacionalidad se llevó a cabo por un lado, de forma gráfica, expresando las concentraciones medias diarias como una media de los cinco días anteriores, junto con las concentraciones totales mensuales recogidas en tablas, mostrando las concentraciones registradas durante los periodos 2014-2015 y 2015-2016. Por otro lado, una vez calculados los periodos

principales de ambas partículas aerovagantes (granos de polen y esporas fúngicas), se resumieron en tablas sus características (inicio, fin y duración en días), al igual que las fechas en las cuales se alcanzaron las concentraciones máximas de cada tipo estudiado y la concentración alcanzada. Los totales se expresaron en las tablas por medio del Índice Polínico anual o estacional (Buters et al., 2012).

A la hora de establecer la representación gráfica de la estacionalidad en los artículos publicados, se tuvieron en cuenta dos conceptos que si bien están relacionados con el significado de PPP y PPE, en algún momento de la historia generaron algún conflicto debido a significados similares con otros términos.

Periodo Principal de Esporulación (PPE): indicado en los artículos relativos a esporas por el término Main Spore Season (MSS), siendo la equivalencia al periodo principal de esporulación. El concepto fue propuesto por Galán y colaboradores (2017) como terminología recomendada para estudios aerobiológicos y atiende al tiempo de duración en el cual están presentes las esporas en la atmósfera en una concentración significativa en la localidad estudiada.

Estación Polínica Atmosférica (APS): este término fue utilizado en el artículo sobre la comparativa de valores polínicos entre dos puntos de la ciudad de Salamanca y expresado mediante las siglas APS (Atmospheric Pollen Season). Este concepto tuvo asociada una disparidad en los criterios respecto a su denominación, especialmente a lo que respecta al castellano. El término PPP al que nos referimos, corresponde al periodo en el que el polen está presente en el aire de manera más abundante. Sin embargo algunos autores no empleaban este término debido a que la definición del mismo podía asociarse a procesos de fertilidad de las plantas (Lejoly Gabriel & Leuschner, 1983; Clot, 1998; Sirigou et al., 2003). Por ello se propuso al PPP como Periodo Principal de Polinación, pasando en inglés como Atmospheric Pollen Season, que atiende de manera más precisa al periodo que queremos referir (Jato et al., 2006).

- **Análisis del comportamiento intradiario**

Con motivo de estudiar la evolución de las concentraciones de esporas y granos de polen a lo largo de un día completo y así identificar aquellas horas de máxima presencia en el aire o bien aquellas de mínima, se llevó a cabo el estudio de la variación intradiaria.

Al igual que sucede con el cálculo del PPP y PPE, existen una variedad de métodos para calcular la variación intradiaria de las partículas aerovagantes. Uno de los modelos tiene en cuenta la presencia de precipitaciones (Galán et al., 1991; Aira et al., 2003), ya que calcula la concentración media diaria teniendo en consideración todos los días del PPE, pero para el cálculo de las concentraciones horarias únicamente se seleccionan aquellos días en los que las lluvias no estuvieron presentes y que además registraron concentraciones medias diarias iguales o superiores a la media calculada previamente. Otro modelo, tiene en cuenta la totalidad de los días del estudio,

sin discriminar días de lluvia (Aira et al., 2003), estando la concentración horaria representada por la media aritmética de los valores correspondientes a cada franja horaria durante el periodo principal. Otros métodos encontrados en la bibliografía tienen en cuenta condiciones particulares como considerar los días con concentraciones horarias máximas por encima de ciertos niveles (Borycka & Kasprzyk, 2018). Incluso algunos modelos sólo consideran un número determinado de días en los que se incluye el pico máximo de concentración (Fernández Rodríguez et al., 2018).

Como establecieron Jato y colaboradores (2006) para el termino *Atmospheric Pollen Season* (APS), la elección del modelo para el estudio de la variación intradiaria debería estar condicionado al tipo de estudio que se pretende realizar. En nuestro caso, el modelo tenido en cuenta en la realización de esta Tesis Doctoral, es aquel que contempla únicamente los días que no registran precipitaciones. Esto se llevó a cabo debido a la necesidad de evaluar el contenido aerobiológico de la atmósfera de forma lo más acertada posible, al no tener en cuenta días que pueden suponer una ausencia en la concentración de partículas debido al efecto barrido de la lluvia (Mc Donald, 1962). A este hecho se suma el incremento de investigaciones que están empleando este método en los últimos años, permitiéndonos contar con una base bibliográfica amplia para la comparación de nuestros resultados (Ribeiro & Abreu, 2014; Simoleit et al., 2017; Almaguer et al., 2018)

Gracias a la colaboración entre el Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario de Salamanca y el Grupo de Palinología y Conservación Vegetal de la Universidad de Salamanca, se llevó a cabo la realización del proyecto ‘Determinación del perfil epidemiológico-clínico y perfil de sensibilización en pacientes alérgicos a la *Alternaria*. Estudio del recuento de esporas de *Alternaria* en la ciudad de Salamanca y su correlación con las condiciones atmosféricas’. Dicho proyecto fue financiado por la Gerencia Regional de Salud, de la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León. Al tratarse de un estudio vinculado a un proyecto sanitario, consideramos necesario contemplar todos los días del PPE de *Alternaria* a la hora de realizar sus análisis. En este caso el estudio de la variación intradiaria se realizó tomando todos los días del periodo principal de *Alternaria*, para no eliminar datos que pudieran ser de interés para los sanitarios y personas alérgicas.

La representación gráfica de la variación intradiaria se expresó mediante histogramas donde, en el eje de abscisas, se disponen las 24 horas del día y en el de ordenadas la concentración de esporas en porcentaje con respecto al total diario.

➤ PRESENTACIÓN DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

Se solicitaron a la Agencia Estatal de Meteorología (© AEMET) los datos meteorológicos de los años 2014, 2015 y enero y febrero del 2016, procedentes de la estación de Matacán, situada a unos 15 km de la capital (40° 57' 34'' N; 5°29'54'' O). Asimismo, a partir de la página virtual de la AEMET, es posible consultar los datos climatológicos relativos a un periodo de referencia de 30 años. Para esta Tesis se consideró el periodo 1981-2010, representando gráficamente los valores de temperatura, precipitaciones y humedad relativa permitiendo comparar la meteorología del periodo de estudio con la climatología del periodo de referencia señalado y estudiar posibles diferencias y/o alteraciones. Al no estar disponible la información de los vientos y la insolación para el periodo de 30 años no se realizó una comparativa con los valores obtenidos durante el periodo 2014-2016.

Los factores meteorológicos analizados fueron los siguientes:

- Temperatura: los valores de temperatura empleados fueron la temperatura media diaria, para cada uno de los parámetros de temperatura máxima, mínima y media de los periodos 2014-2015, 2015-2016 y el periodo de referencia 1981-2010 mediante gráficos de líneas.
- Precipitación: los datos utilizados corresponden a la suma total diaria en mm. Se compararon los valores recogidos mediante climogramas de los periodos 2014-2015, 2015-2016, el periodo 2014-2016 completo y el periodo 1981-2010.
- Humedad relativa: el valor empleado fue el de humedad media diaria. Los valores expresados en porcentaje, se representaron gráficamente en un histograma conteniendo los valores del periodo 2014-2015, 2015-2016 y 1981-2010.
- Vientos: para conocer el régimen de vientos de Salamanca se tuvieron en cuenta los datos diarios tanto la velocidad (en km/h) como la dirección de los mismos durante el periodo de estudio (I%, II%, III% y IV% cuadrantes, correspondiente a las direcciones norte-este, este-sur, sur-oeste y oeste-norte). Los periodos de ausencia de viento, recogidos como calmas, se emplearon como porcentaje medio diario. Para la representación gráfica se han tomado en cuenta las medidas mensuales para los dos periodos de estudio siendo representados en un histograma de porcentaje acumulado.
- Insolación: las horas de sol se consideraron como horas de sol diarias acumuladas. Los datos se expresaron mediante un gráfico de líneas para los periodos 2014-2015 y 2015-2016.

- **Establecimiento de correlaciones con parámetros meteorológicos**

Los estadísticos que pueden utilizarse para realizar correlaciones, son variados, encontrando varios modelos como el Coeficiente de Pearson (De Linares et al., 2017), la Tau de Kendall (Božić et al., 2019), o los Rangos con Signo de Wilcoxon, (Maya Manzano et al., 2018), pero cuando queremos analizar la posible influencia de los diferentes parámetros meteorológicos sobre las concentraciones atmosféricas de polen y esporas se recurre, habitualmente, al Test de Correlación de Spearman, no paramétrico, ya que este coeficiente se utiliza cuando los datos no se ajustan a una distribución normal, como así ocurre con el comportamiento atmosférico de polen y esporas. Debido a que lo que se establece es una posible correlación lineal entre dos variables, los valores están comprendidos entre $-1 \leq R \leq +1$, siendo R el valor del coeficiente de Spearman. La relación entre ambas variables será mayor cuanto más se acerque el coeficiente obtenido a 1 y su signo determinará si el aumento de los valores de una determinada variable meteorológica influye en el aumento o disminución del polen o esporas (positivo indicara que las dos variables están correlacionadas en sentido directo y negativo cuando las variables estén correlacionadas en sentido inverso).

Los niveles de significación considerados han sido de $p \leq 0,01$ (**) y $p \leq 0,05$ (*), lo que nos permite obtener un grado de confianza del 99 y 95%, respectivamente.

Para realizar las correlaciones se utilizaron los parámetros meteorológicos correspondientes a datos diarios (Tmax: media diaria de la temperatura máxima (°C); Tmin: media diaria de la temperatura mínima (°C); Tmed: media diaria de la temperatura media (°C); Prec: precipitación total diaria (mm); HR: media diaria de la humedad relativa (%); Vel. viento: velocidad diaria media del viento (Km/h); Viento NE: frecuencia media diaria de vientos procedentes del primer cuadrante (%); Viento SE: frecuencia media diaria de vientos procedentes del segundo cuadrante (%); Viento SO: frecuencia media diaria de vientos procedentes del tercer cuadrante (%) y Viento NO: frecuencia media diaria de vientos procedentes del cuarto cuadrante (%); Frec calmas: frecuencia media diaria de calmas del viento (%) e Insolación: insolación total diaria (horas).

Los resultados se representan en las tablas de correlación donde figuran los coeficientes de correlación de Spearman, indicando la correlación existente entre valores de partículas aerobiológicas y factores meteorológicos empleando para ello el Periodo Principal de Polinización y Esporulación (PPP/PPE) de las partículas aerovagantes analizadas, unificando los dos periodos anuales para una valoración global de todo el periodo de muestreo 2014-2016.

➤ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aira, M. J., Almaguer Chávez, M., Fernández González, M. & Rodríguez Rajo, F. J. (2018). Pollen diversity in the atmosphere of Havana, Cuba. *Aerobiologia*, 34, 389-403.
- Aira, M. J., La Serna, I. & Dopazo, A. (2003). Identification of fungal spores in the atmosphere of Santiago de Compostela (NW Spain) in the winter period. *Polen*, 12, 65-76.
- Almaguer, M., Rojas, T. I., Pérez, D. & Espinosa, K. C. S. (2018). Aerobiología de *Ganoderma* en la atmósfera de La Habana, Cuba, durante cuatro años de estudio. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 70, 1-15.
- Almeida, E., Caeiro, E., Todo Bom, A., Ferro, R., Dionísio, A., Duarte, A. & Gazarini, L. (2018). The influence of meteorological parameters on *Alternaria* and *Cladosporium* fungal spore concentrations in Beja (southern Portugal): Preliminary results. *Aerobiologia*, 34, 219-226.
- Álvarez, M. L., Calonge, F., Gutiérrez, C. J. V., Laso, B. M., Bobillo, M. T. S., Arias, M. F. & Morales, Á. A. (1987). Aportaciones al conocimiento micológico del centro-Oeste español (I Curso de Micología). *Studia Botanica*, 6, 75-81.
- Andersen, T. B. (1991). A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana*, 30, 269-275.
- Anon (2002). Fin Pollen Bull (Suppl) 26:2.
- Artaç, H., Kizilpınar Temizer, I., Özdemir, H., Pekcan, S., Doğan, C. & Reislı, I. (2014). *Alternaria* and *Cladosporium* spores in the atmosphere of Konya and their relationship with meteorological factors. *Asthma Allergy Immunology*, 12, 130-139.
- 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. *Atmospheric Environment*, 182, 179-192.
- Božić, J., Ilić P. & Ilić, S. (2019). Indoor air quality in the hospital: the influence of heating, ventilating and conditioning systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62, 1-11.
- Buters, J. T. M., Thibaudon, M., Smith, M., Kennedy, R., Rantio Lehtimäki, A., Albertini, R., Reese, G., Weber, B., Galán, C., Brandao, R., Antunes, C. M., Jäger, S., Berger, U., Celenk, S., Grewling, Ł., Jackowiak, B., Sauliene, I., Weichenmeier, I., Pusch, G., Sarioglu, H., Ueffing, M., Behrendt, H., Prank, M., Sofiev, M. Cecchi, L. & The HIALINE working group. (2012). Release of Bet v 1 from birch pollen from 5 European countries. Results from the HIALINE study. *Atmospheric Environment*, 55, 496-505.

- Calonge, F. D., Marcos, B., Hernández, E. & Calabrese, G. (2000). Hongos recolectados en encinares (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), melojares (*Q. pyrenaica*) y pinares (*Pinus sylvestris*) de algunas localidades de Salamanca. *Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid*, 25, 5-13.
- Capel Molina, J. (2000). El clima de la Península Ibérica. Ed. Ariel geográfica, 281 pp.
- Clot, B. (1998). Forecast of the Poaceae pollination in Zurich and Basel (Switzerland). *Aerobiologia*, 14, 267–268.
- De Linares, C., Delgado, R., Aira, M. J., Alcázar, P., Alonso Pérez, S., Boi, M., Cariñanos, P., Cuevas, E., Díaz de la Guardia, C., Elvira Rendueles, B., Fernández González, D., Galán, C., Gutiérrez Bustillo, A. M., Pérez Badia, R., Rodríguez Rajo, F. J., Ruíz Valenzuela, L., Tormo Molina, R., Trigo, M. M., Valencia Barrera, R. M., Valle, A. & Belmonte J. (2017). Changes in the Mediterranean pine forest: pollination patterns and annual trends of airborne pollen. *Aerobiologia*, 33, 375-391.
- Fernández Martínez, M., Belmonte, J. & Espelta, J. M. (2012). Masting in oaks: disentangling the effect of flowering phenology, airborne pollen load and drought. *Acta Oecologica*, 43, 51-59.
- Fernández Rodríguez, S., Cortés Pérez, J. P., Muriel, P. P., Tormo Molina, R. & Maya Manzano, J. M. (2018). Environmental impact assessment of Pinaceae airborne pollen and green infrastructure using BIM. *Automation in Construction*, 96, 494-507.
- Fernández Rodríguez, S., Durán Barroso, P., Silva Palacios, I., Tormo Molina, R., Maya Manzano, J. M. & Gonzalo Garijo, Á. (2016). Regional forecast model for the Olea pollen season in Extremadura (SW Spain). *International Journal of Biometeorology*, 60, 1509-1517.
- Frankland, A. W. & Davies, R. R. (1965). Allergic aux spores de moisissures en Angleterre. *Le Poumon et le Coeur*, 21, 11-23.
- Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernández González D., Frenguelli, G., Gehrig, R., Isard, S., Levetin, E., Li, D. W., Mandrioli, P., Rogers, C. A., Thibaudon, M., Sauliene, I., Skjoth, C., Smith, M. & Sofiev, M.. (2017). Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, 33, 293–295.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2007). Spanish aerobiology network (REA): Management and quality manual. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba 2007. www.uco.es/rea/infor_rea/manual_eng.pdf.
- Galán, C., Emberlin, J., Domínguez, E., Bryant, R. H. & Villamandos, F. (1995). A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana*, 34, 189-198.

- Galán, C., Tormo, R., Cuevas, J., Infante, F. & Domínguez, E. (1991). Theoretical daily variations patterns of airborne pollen in south-west of Spain. *Grana*, 30, 201-209.
- García Jiménez, P., Sánchez Rodríguez M. & Navarro Andres F. (2003). Aportaciones al conocimiento micológico de algunas dehesas de las provincias de Ávila y Salamanca (España). *Studia Botanica*, 22, 65-74.
- Gharbi, D., Trigo, M. M. & Recio, M. (2019). The use of cyclohexane as new solvent for airborne pollen sampling. *Aerobiologia*, 35, 441-445.
- Grant Smith, E. (2000). *Sampling and identifying allergenic pollens and molds*. San Antonio, TX: Blewstone Press, 196 pp.
- Gravesen, S. (1979). Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy*, 34, 135-154.
- Grinn Gofroń, A. & Bosiacka, B. (2015). Effects of meteorological factors on the composition of selected fungal spores in the air. *Aerobiologia*, 31, 63-72.
- Grinn Gofroń, A., Nowosad, J., Bosiacka, B., Camacho, I., Pashley, C., Belmonte, J. & Skjøth, C. (2019). Airborne *Alternaria* and *Cladosporium* fungal spores in Europe: Forecasting possibilities and relationships with meteorological parameters. *Science of the Total Environment*, 653, 938-946.
- Gutiérrez, M., Sáenz, C., Aránguez, E. & Ordóñez, J.M. (2001). *Polen atmosférico en la Comunidad de Madrid*. Documentos Técnicos de Salud Pública 70. Madrid, 204 pp.
- Hasnain, S. M. (1993). Influence of meteorological factor son the air spora. *Grana*, 32, 184-188.
- Hernández Melchor, J. A. & Santos, J. V. (2007). Los macromicetos en la provincia de Salamanca: una revisión bibliográfica. *Boletín Micológico Lazarillo*, 3, 31-48.
- Hirst, J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39, 257-265.
- Jäger, S., Nilsson, S., Berggren, B., Pessi, A. M., Helander, M. & Ramfjord, H. (1996). Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980-1993. *Grana*, 35, 171-178.
- Jato, V., Rodríguez Rajo, F. J., Alcázar, P., De Nuntis, P., Galán, C. & Mandrioli, P. (2006). May the definition of pollen season influence aerobiological results?. *Aerobiologia*, 22, 13-25.
- La Serna Ramos, I.E. & Domínguez Santana, M.D. (2003). *Pólenes y esporas aerovagantes en Canarias: incidencia en alergias*. Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España, 248 pp.
- Lejoly Gabriel, M. & Leuschner, R. M. (1983). Comparison of air-borne pollen at Louvain-la-Neuve (Belgium) and Basel (Switzerland) during 1979 and 1980. *Grana*, 22, 59-64.

- Loeffert, S. T., Vanhems, P., Tissot, E., Dananché, C., Cassier, P., Bénét, T., Perraud, M., Thibaudon, M. & Gustin, M. P. (2018). Evaluation of Hirst-type spore traps in outdoor Aspergillaceae monitoring during large demolition work in hospital. *PloS one*, 13, e0191135. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191135>.
- Manibusan, M. K., Odin, M. & Eastmond, D. A. (2007). Postulated carbon tetrachloride mode of action: a review. *Journal of Environmental Science and Health Part C*, 25, 185-209.
- Martínez Blanco, X., Tejera, L. & Beri, Á. (2016). First volumetric record of fungal spores in the atmosphere of Montevideo City, Uruguay: a 2-year survey. *Aerobiologia*, 32, 317-333.
- Maya Manzano, J. M., Fenández Rodríguez, S., Vaquero del Pino, C., Gonzalo Garijo, Á., Silva Palacios, I., Tormo Molina, R., Moreno Corchero, A., Cosmes Martín, P. M., Blanco Pérez, R. M., Domínguez Noche, C., Fernández Moya, L., Alfonso Sanz, J. V., Vaquero Pérez, P., Pérez Marín, M. L., Rapp, A., Rojo, J. & Pérez-Badía, R. (2017). Variations in airborne pollen in central and south-western Spain in relation to the distribution of potential sources. *Grana*, 56, 228-239.
- McDonald, J. E. (1962). Collection and washout of airborne pollens and spores by raindrops. *Science*, 135(3502), 435-437.
- Munuera Giner, M., Carrión García J. S. & Navarro Camacho, C. (2001). Airborne *Alternaria* spores in SE Spain (1993-98). *Grana*, 40, 111-118.
- Nilsson, S. & Persson, S. (1981). Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden) 1973-1980. *Grana*, 20, 179-182.
- Olsen, Y., Gosewinkel, U. B., Skjøth, C. A., Hertel, O., Rasmussen, K. & Sigsgaard, T. (2019). Regional variation in airborne *Alternaria* spore concentrations in Denmark through 2012-2015 seasons: the influence of meteorology and grain harvesting. *Aerobiologia*, 35, 533-551.
- Ribeiro, H. & Abreu, I. (2014). A 10-year survey of allergenic airborne pollen in the city of Porto (Portugal). *Aerobiologia*, 30, 333-344.
- Rivas Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España [Memoria del Mapa de Vegetación Potencial de España. Parte I]. *Itinera Geobotánica*, 17, 1-436.
- Rivas, S. & Gandullo, J. M. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: Madrid.
- Rodríguez, D., Dávila, I., Sánchez, E., Lorente, F. & Sánchez, J. (2016). Comparison of Pollen Levels Between 2 Pollen Traps in Salamanca, Spain. *Journal of Investigational Allergology & Clinical Immunology*, 26, 111-143.

- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., Martín Baz, A. & Sánchez Agudo, J. Á. (2020). Aerobiological notes in the Biosphere Reserve “Sierras de Béjar y Francia” (MW Spain). *Aerobiologia*, 36, 305-311.
- Sabariego, S., Bouso, V. & Pérez Badia, R. (2012). Comparative study of airborne *Alternaria* conidia levels in two cities in Castilla-La Mancha (central Spain), and correlations with weather-related variables. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19, 227-232.
- Sáenz, C. & Gutiérrez-Bustillo, M. (2003). *Esporas atmosféricas en la Comunidad de Madrid*. Documento Técnico de Salud Pública nº 83, Madrid, 49 pp.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez Sánchez, J. (2016). First fungal spore calendar of the middle-west of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 32, 529–539.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, E. & Sánchez Sánchez, J. (2009). Meteorological and agricultural effects on airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores and clinical aspects in Valladolid [Spain]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16, 53-61.
- Ščevková, J., Dušička, J., Mičieta, K. & Somorčík, J. (2015). Diurnal variation in airborne pollen concentration of six allergenic tree taxa and its relationship with meteorological parameters. *Aerobiologia*, 31, 457-468.
- Silva Palacios, I., Torno Molina, R. & Muñoz Rodríguez, A. (2000). Influence of wind direction on pollen concentration in the atmosphere. *International Journal of Biometeorology*, 44, 128-133.
- Simoleit, A., Werchan, M., Werchan, B., Mücke, H. G., Gauger, U., Zuberbier, T. & Bergmann, K. C. (2017). Birch, grass, and mugwort pollen concentrations and intradiurnal patterns at two different urban sites in Berlin, Germany. *Allergo Journal International*, 26, 155-164.
- Spieksma, F. (1991). Regional European Pollen Calendars. In G. D’Amato, F. Th, M. Spieksma & S. Bonini (Eds.), *Allergenic pollen and pollinosis in Europe* (pp. 49-65). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Syrigou, E., Zanikou, S. & Papageorgiou, P. S. (2003). Grasses, olive, parietaria and cypress in Athens: Pollen sampling from 1995 to 1999. *Aerobiologia*, 19, 133-137.
- Thibaudon, M., Galán, C., Lanzoni, C. & Monnier, S. (2015). Validation of a new adhesive coating solution: Comparative study of carbon tetrachloride and diethyl ether. *Aerobiologia*, 31, 57-62.

Trigo, M. D. M., Gharbi, D., Ruiz, S. & Recio, M. (2015). The use of Cyclohexane as a new adhesive for airborne pollen sampling. Medpalyno, GPSBI-APPLE Symposium, 8-10 September 2015. Recuperado de: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/10071>.

Valdés, B., Díez, M.J. & Fernández, I. (1987). *Atlas Polínico de Andalucía Occidental*. Instituto de Desarrollo regional nº 43, Universidad de Sevilla. Excma. Diputación de Cádiz, 450 pp.

Webgrafía:

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Valores climatológicos normales. Salamanca-Aeropuerto* (último acceso: junio/2020). www.aemet.es.

Elena Vila, S. (2007). *Contribución al conocimiento micológico de la provincia de Salamanca*. (España). Recuperado de <http://www.amanitacaesarea.es/Setas%20de%20Salamanca%20final%20con%20bibliografía>.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). Centro Nacional de Información Geográfica. Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. *Biogeografía* (último acceso: septiembre/2020) atlasnacional.ign.es/wane/Biogeografía.

CAPÍTULO III

Resultados

‘Ahora es preciso que deseches la pereza; que no se alcanza la fama reclinado en blanda pluma ni al abrigo de colchas; y el que consume su vida sin gloria, deja en pos de sí el mismo rastro que el humo en el aire o la espuma en el agua’

- Dante Alighieri

PARÁMETROS
METEOROLÓGICOS

*Meteorología de la
ciudad de Salamanca
(2014-2016)*

A continuación se detallan los valores meteorológicos concernientes a Salamanca durante el periodo 2014-2016, comparándolo con el periodo medio de referencia. La tabla 3.1 muestra los valores medios mensuales (a excepción de las precipitaciones para las cuales se consideran los valores totales mensuales y anual) para cada uno de los años de estudio, de los parámetros meteorológicos utilizados a lo largo de los capítulos.

Temperatura

Como muestra la figura 3.1, podemos encontrar diferencias tanto en las temperaturas máximas como en las mínimas, mientras que la temperatura media se mantiene bastante similar, comparando los valores con el periodo 1981-2010 con diferencias en los meses más fríos del año mostrando diciembre y enero del periodo 2015-2016 valores superiores tanto al periodo 2014-2015 como el periodo 1981-2010, ocurriendo lo contrario durante octubre de 2014-2015, cuando registró valores superiores a 2015-2016 y al periodo de referencia medio. Respecto a las temperaturas máximas, encontramos temperaturas superiores durante los meses de mayo, junio y julio del año 2015, llegando a estar en julio, hasta más de 4 grados por encima del periodo medio de referencia. La situación parece invertirse durante septiembre y octubre de 2014, donde las diferencias entre la temperatura media y máxima oscila entre 1,6 y 3,8 grados comparándolo con 2015. Por último, durante diciembre de 2015, se obtuvo la mayor diferencia entre ambos periodos de estudio, con 5 grados más respecto a 2014-2015, el cual obtuvo valores similares durante diciembre y enero del periodo medio de referencia.

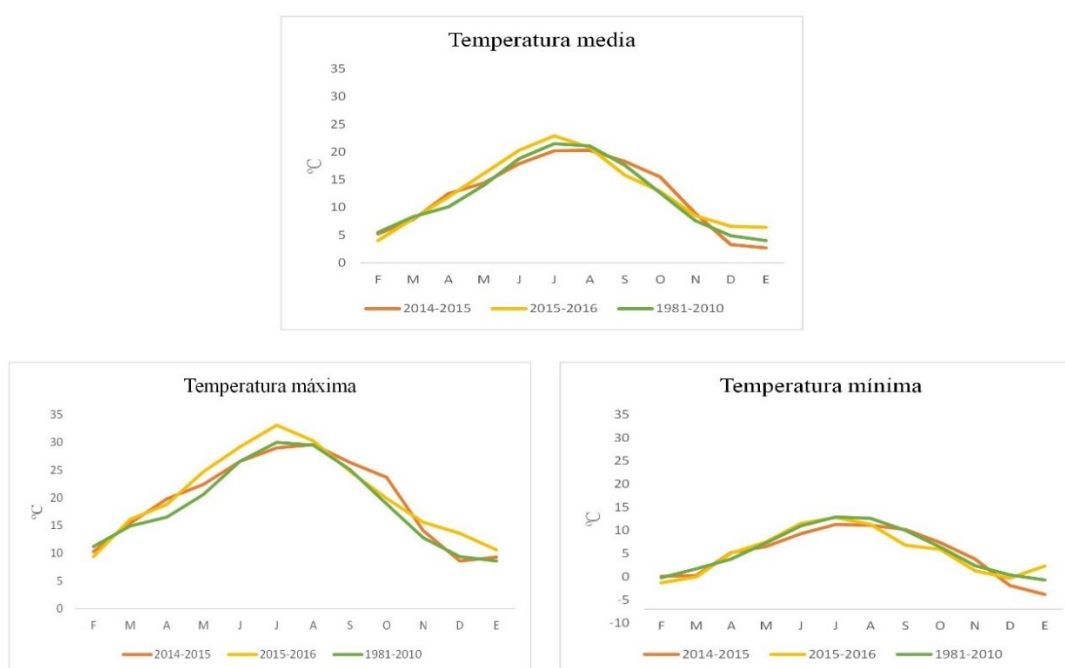


Figura 3. 1. Resultados mensuales medios de las temperaturas media, máxima y mínima de los periodos de estudio 2014-2015, 2015-2016 y el periodo de referencia 1981-2010.

Tabla 3. 1. Valores de los parámetros meteorológicos durante el periodo de estudio.

| | Tmed | Tmax | Tmin | Prec | HR | VV | NE | SE | SO | NO | FC | Insolación |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| 2014-2015 | | | | | | | | | | | | |
| Feb | 5,2 | 10,3 | 0,1 | 48,6 | 76 | 19 | 1,6 | 2,6 | 65,4 | 20,0 | 10,0 | 4,1 |
| Mar | 7,8 | 15,4 | 0,3 | 24,8 | 67 | 12 | 20,8 | 16,0 | 27,7 | 22,4 | 12,9 | 7,3 |
| Abr | 12,5 | 19,8 | 5,2 | 22,0 | 69 | 12 | 12,3 | 12,1 | 38,9 | 26,8 | 9,5 | 8,4 |
| May | 14,4 | 22,4 | 6,5 | 20,9 | 57 | 14 | 31,6 | 5,6 | 25,3 | 31,2 | 5,8 | 11,2 |
| Jun | 17,9 | 26,6 | 9,3 | 2,6 | 57 | 11 | 25,6 | 10,5 | 26,6 | 27,0 | 9,6 | 12,4 |
| Jul | 20,2 | 29,0 | 11,3 | 10,3 | 58 | 10 | 33,5 | 9,6 | 20,5 | 24,7 | 11,2 | 11,7 |
| Ago | 20,3 | 29,6 | 11,1 | 0,0 | 59 | 7 | 20,0 | 5,9 | 14,8 | 45,4 | 13,3 | 11,8 |
| Sep | 18,3 | 26,4 | 10,2 | 26,5 | 65 | 7 | 19,6 | 13,6 | 28,7 | 16,7 | 18,7 | 8,5 |
| Oct | 15,5 | 23,7 | 7,4 | 32,8 | 66 | 8 | 13,0 | 13,3 | 33,3 | 11,5 | 28,7 | 8,0 |
| Nov | 8,9 | 14,1 | 3,8 | 72,9 | 79 | 13 | 13,2 | 15,0 | 42,1 | 17,5 | 12,0 | 3,2 |
| Dic | 3,3 | 8,6 | -1,9 | 3,2 | 81 | 6 | 34,6 | 20,6 | 10,5 | 12,1 | 21,6 | 4,5 |
| Ene | 2,7 | 9,3 | -3,8 | 9,7 | 77 | 10 | 20,0 | 20,3 | 22,2 | 19,1 | 17,9 | 5,8 |
| Anual | 12,2 | 19,6 | 4,9 | 274,3 | 67,5 | 11 | 20,5 | 12,1 | 29,6 | 22,8 | 14,2 | 8,0 |
| 2015-2016 | | | | | | | | | | | | |
| | Tmed | Tmax | Tmin | Prec | HR | VV | NE | SE | SO | NO | FC | Insolación |
| Feb | 4,0 | 9,4 | -1,3 | 18,5 | 74 | 15,5 | 20,1 | 7,3 | 26,3 | 38,5 | 7,5 | 4,9 |
| Mar | 8,0 | 16,1 | 0,0 | 2,4 | 63 | 11,6 | 41,4 | 13,0 | 13,8 | 17,5 | 14,1 | 7,8 |
| Abr | 12,0 | 18,8 | 5,1 | 47,0 | 64 | 12,4 | 22,2 | 25,2 | 25,0 | 18,2 | 9,1 | 8,1 |
| May | 16,1 | 24,7 | 7,5 | 4,6 | 57 | 14,1 | 40,4 | 11,0 | 23,8 | 16,6 | 7,9 | 11,9 |
| Jun | 20,3 | 29,2 | 11,5 | 51,2 | 58 | 8,9 | 30,5 | 16,2 | 20,4 | 20,6 | 11,9 | 10,7 |
| Jul | 23,0 | 33,1 | 12,8 | 2,2 | 56 | 7,9 | 18,5 | 10,5 | 17,1 | 39,3 | 14,3 | 12,6 |
| Ago | 20,8 | 30,3 | 11,3 | 2,3 | 58 | 8,9 | 21,3 | 12,2 | 21,5 | 32,2 | 12,5 | 10,8 |
| Sep | 15,8 | 24,8 | 6,8 | 10,5 | 57 | 8,9 | 24,1 | 12,5 | 22,8 | 19,9 | 17,0 | 9,0 |
| Oct | 12,9 | 19,9 | 5,9 | 32,8 | 70 | 10,9 | 26,2 | 17,4 | 28,4 | 11,0 | 16,7 | 6,1 |
| Nov | 8,5 | 15,6 | 1,3 | 24,6 | 71 | 6,7 | 22,1 | 21,5 | 15,6 | 13,1 | 27,0 | 5,7 |
| Dic | 6,6 | 13,6 | -0,3 | 13,6 | 75 | 7,1 | 16,9 | 31,8 | 25,0 | 6,7 | 19,3 | 4,3 |
| Ene | 6,4 | 10,6 | 2,3 | 101,5 | 77 | 14,5 | 12,1 | 12,8 | 49,5 | 12,9 | 10,9 | 3,0 |
| Anual | 12,8 | 20,5 | 5,2 | 311,2 | 65 | 10,6 | 24,6 | 15,9 | 24,1 | 20,5 | 14,0 | 7,9 |

Tmed: media mensual de las temperaturas medias diarias (°C). **Tmax:** media mensual de las temperaturas máximas diarias (°C). **Tmin:** media mensual de las temperaturas mínimas diarias (°C). **Prec:** precipitación total mensual (mm). **HR:** media mensual de la humedad relativa diaria (%). **VV:** media mensual de la velocidad media diaria (km/h). **NE:** media mensual de la frecuencia media diaria de vientos del noreste (%). **SE:** media mensual de la frecuencia media diaria de vientos del sureste (%). **SO:** media mensual de la frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%). **NO:** media mensual de la frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%). **FC:** media mensual de la frecuencia media diaria de vientos en calma (%). **Insolación:** media mensual de la insolación total diaria (horas).

La gráfica de temperaturas mínimas mostró cierta similitud a lo largo de los periodos con algunos meses con diferencias (septiembre, diciembre y enero). La mayor diferencia se sucedió durante enero de 2016, ya que obtuvo una media mensual de 2,3 °C mientras que durante 2015, el mes fue mucho más frío, estando su temperatura mínima media en -3,8 grados. Además durante septiembre de 2014, se obtuvo una mayor separación entre los resultados registrados, siendo hasta 3,4 grados mayor respecto a 2015, estando equiparado al periodo medio de referencia.

Si comparamos los datos obtenidos entre los dos años de estudio con los datos del periodo de 30 años (1981-2010), podemos apreciar algunas diferencias (fig. 3.1; tabla 3.2). Vemos que la temperatura media del periodo 2014-2015 es igual que la del periodo medio de referencia (12,2 °C), siendo la del periodo 2015-2016 superior en 0,6 °C. Las mayores diferencias en este parámetro se encuentran entre diciembre y enero, estando ambos meses alrededor de 6,5 grados durante 2015-2016, mientras que en 2014-2015 la temperatura media se reduce prácticamente a la mitad.

Tabla 3. 2. *Valores medios mensuales de las temperaturas de ambos periodos de estudio 2014-2015 y 2015-2016 y el periodo medio de referencia 1981-2010).*

| 2014-2015 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Anual |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| Tmax | 10,3 | 15,4 | 19,8 | 22,4 | 26,6 | 29,0 | 29,6 | 26,4 | 23,7 | 14,1 | 8,6 | 9,3 | 19,6 |
| Tmin | 0,1 | 0,3 | 5,2 | 6,5 | 9,3 | 11,3 | 11,1 | 10,2 | 7,4 | 3,8 | -1,9 | -3,8 | 4,9 |
| Tmed | 5,2 | 7,8 | 12,5 | 14,4 | 17,9 | 20,2 | 20,3 | 18,3 | 15,5 | 8,9 | 3,3 | 2,7 | 12,2 |
| 2015-2016 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Anual |
| Tmax | 9,4 | 16,1 | 18,8 | 24,7 | 29,2 | 33,1 | 30,3 | 24,8 | 19,9 | 15,6 | 13,6 | 10,6 | 20,5 |
| Tmin | -1,3 | 0,0 | 5,1 | 7,5 | 11,5 | 12,8 | 11,3 | 6,8 | 5,9 | 1,3 | -0,3 | 2,3 | 5,2 |
| Tmed | 4,0 | 8,0 | 12,0 | 16,1 | 20,3 | 23,0 | 20,8 | 15,8 | 12,9 | 8,5 | 6,6 | 6,4 | 12,8 |
| 1981-2010 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Anual |
| Tmax | 11,2 | 14,9 | 16,5 | 20,6 | 26,6 | 30,0 | 29,5 | 25,1 | 18,9 | 12,8 | 9,4 | 8,6 | 18,7 |
| Tmin | -0,2 | 1,7 | 3,8 | 7,3 | 11,0 | 12,9 | 12,6 | 10,0 | 6,4 | 2,4 | 0,4 | -0,7 | 5,6 |
| Tmed | 5,5 | 8,3 | 10,1 | 14,0 | 18,8 | 21,5 | 21,1 | 17,6 | 12,6 | 7,6 | 4,9 | 4,0 | 12,2 |

Tmax: media mensual de las temperaturas máximas diarias (°C). **Tmin:** media mensual de las temperaturas mínimas diarias (°C). **Tmed:** media mensual de las temperaturas medias diarias (°C).

Los meses que muestran menores diferencias entre las temperaturas de ambos periodos de estudio, fueron las de marzo, abril y agosto con valores muy similares. Por el contrario, las temperaturas máximas difieren en valores más elevados especialmente durante los meses de verano. Atendiendo a los valores anuales a pesar de las diferencias entre unos meses y otros 2015-2016 resultó ser más caluroso respecto a la primera anualidad de estudio, especialmente el mes de julio donde la temperatura máxima fue más de 4°C superior al periodo 2014-2015 y hasta 3 grados respecto al periodo 1981-2010. En este aspecto, el periodo 2014-2015 fue muy similar en temperaturas mensuales al periodo de referencia durante los meses estivales.

Precipitación y Humedad relativa

A lo largo de los dos periodos el comportamiento de las precipitaciones fue bastante diferente. El primer año registró sus valores mínimos de lluvias durante el periodo estival (fig. 3.2), con unas ligeras lluvias durante julio, siendo nulas en agosto. Igualmente, durante el mes de diciembre se recogieron valores mínimos, poco frecuentes comparados con el periodo medio de referencia (1981-2010), donde diciembre es una de las épocas que recoge valores notablemente más altos. Destacar también los bajos valores de precipitación registrados durante la primavera contrastando con el hecho de que los meses de abril y mayo suelen ser los más lluviosos. En la tabla 3.1 pueden observarse algunos de estos valores, teniendo un total acumulado durante el periodo 2014-2015 de 274,3 mm, siendo más bajo que el obtenido durante el periodo medio de treinta años (372 mm). Noviembre resultó ser el mes con lluvias más abundantes (72,9 mm) seguido por febrero.

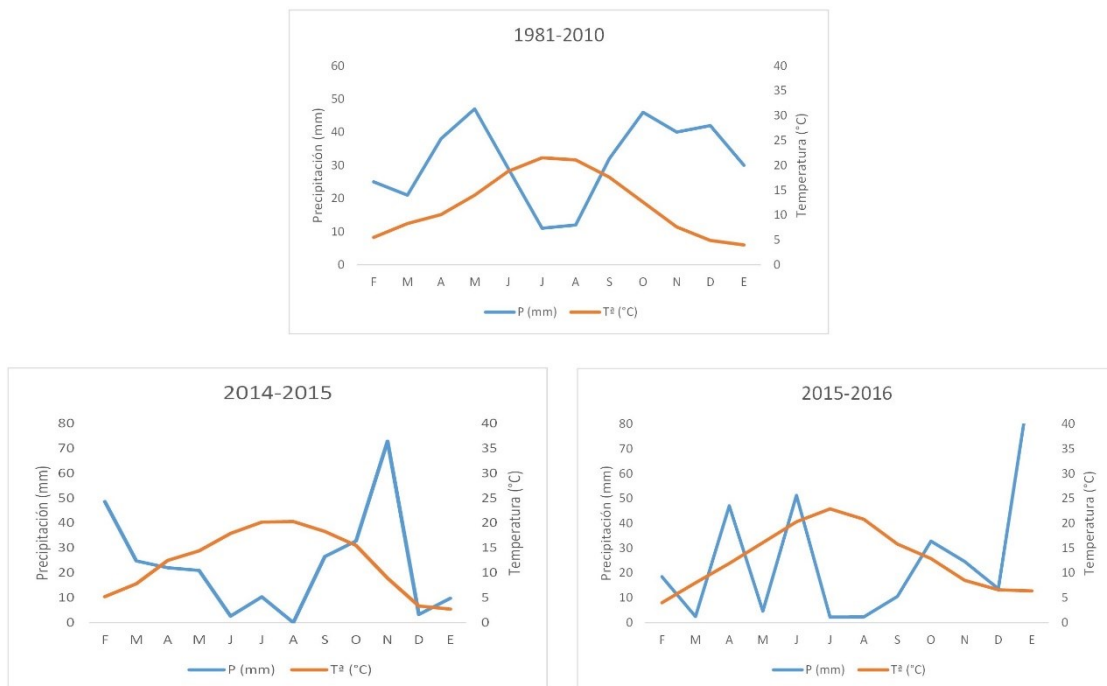


Figura 3. 2. Climogramas de los periodos 2014-2015, 2015-2016 y periodo medio de referencia (1981-2010).

Los cambios sucedidos durante el segundo periodo anual son claramente visibles casi invirtiendo la situación de regímenes de lluvia registrados. El mes cuyas lluvias fueron más abundantes fue enero de 2016, el cual registró el valor más alto del año seguido de junio y abril. Los meses de mínimos recogidos comprendieron marzo, mayo, julio y agosto con valores entre 2 y 4 mm totales. Diciembre también mostró valores bajos, comparado con el periodo medio de referencia.

Si comparamos los dos años conjuntamente mediante su media (fig. 3.3) con el periodo medio de referencia podemos ver que, salvo el periodo estival, donde parece que se igualan los valores mínimos, el resto del año es completamente diferente. En el primer periodo vemos un patrón irregular aserrado, provocado por las diferencias en las lluvias durante los meses primaverales. Continúa un aumento progresivo en las precipitaciones desde agosto hasta noviembre, similar al del periodo de referencia, momento en el que se desploma al llegar a diciembre. A consecuencia de las grandes lluvias recogidas durante enero de 2016, el pico de la gráfica vuelve a subir alcanzando el valor máximo.

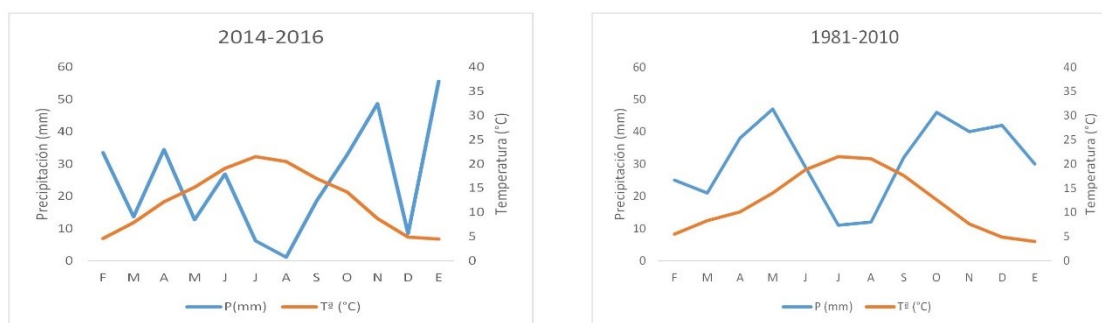


Figura 3. 3. Climogramas de las dos anualidades conjuntas (2014-2016) y el periodo medio de referencia (1981-2010).

Respecto al parámetro humedad relativa, indicar que es el que menos ha variado con respecto al resto de factores meteorológicos. Si comparamos los valores anuales de cada periodo, vemos que durante el periodo 2014-2015 (tabla 3.3) el porcentaje de humedad relativa medio fue ligeramente superior (67,5%), mientras que el periodo 2015-2016 obtuvo una humedad relativa media igual a la del periodo medio de referencia (65%). En la figura. 3.4, podemos apreciar una tendencia similar a lo largo de los meses, concentrando los mayores valores de noviembre a febrero, mientras que la mayor disminución ocurre durante los meses de verano, en su mayoría durante julio salvo en el primer periodo que registró los valores mínimos en mayo y junio. En el año 2015-2016, la menor cifra registrada corresponde a julio siendo un 21% inferior al mes con mayores registros (enero). Respecto al periodo medio de referencia se cumplen los periodos de máxima humedad relativa media entre noviembre y febrero, junto con julio como el mes con menor

humedad relativa, siendo en este caso un 35% menor con respecto al mes con mayor humedad (diciembre-enero).

Tabla 3. 3. Valores mensuales y anuales totales de las precipitaciones y la humedad relativa registrada durante los periodos 2014-2015, 2015-2016 y el periodo medio de referencia (1981-2010).

| 2014-2015 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Anual |
|-----------|------|------|----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|-------|
| Prec (mm) | 48,6 | 24,8 | 22 | 20,9 | 2,6 | 10,3 | 0 | 26,5 | 32,8 | 72,9 | 3,2 | 9,7 | 274,3 |
| HR (%) | 76 | 67 | 69 | 57 | 57 | 58 | 59 | 65 | 66 | 79 | 81 | 77 | 67,5 |
| 2015-2016 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Anual |
| Prec (mm) | 18,5 | 2,4 | 47 | 4,6 | 51,2 | 2,2 | 2,3 | 10,5 | 32,8 | 24,6 | 13,6 | 101,5 | 311,2 |
| HR (%) | 74 | 63 | 64 | 57 | 58 | 56 | 58 | 57 | 70 | 71 | 75 | 77 | 65 |
| 1981-2010 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Anual |
| Prec (mm) | 25 | 21 | 38 | 47 | 29 | 11 | 12 | 32 | 46 | 40 | 42 | 30 | 372 |
| HR (%) | 73 | 63 | 62 | 59 | 52 | 47 | 51 | 59 | 71 | 79 | 83 | 82 | 65 |

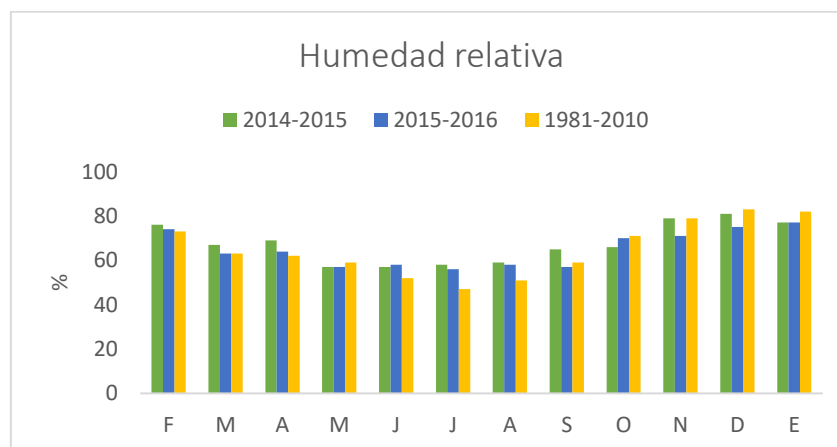


Figura 3. 4. Valores mensuales medios de la humedad relativa durante los periodos 2014-2015, 2015-2016 y periodo medio de referencia (1981-2010).

Comparando los dos periodos de estudio apenas se aprecian diferencias en los porcentajes, excepto en abril, septiembre, noviembre y diciembre donde 2014-2015 obtuvo valores superiores respecto a 2015-2016, mientras que los meses de mayo y enero, obtuvieron el mismo porcentaje. Respecto al periodo medio de referencia la mayor diferencia se sitúa durante los meses de junio, julio y agosto, mostrándose los dos periodos de estudio con valores superiores, llegando a ser un 10% superior durante el mes más cálido (julio) respecto a la media de los 30 años, mientras que diciembre y enero, fueron mayores los porcentajes durante el periodo de referencia.

Velocidad y dirección del viento

En esta ocasión, junto con la insolación, no está disponible la información referida al periodo medio de referencia (1981-2010), por lo que se tuvieron en cuenta solamente los periodos 2014-2015 y 2015-2016. Al completar con la frecuencia de calmas el porcentaje diario de frecuencia de vientos, se optó por incluirlas en el histograma apilado.

Las dos anualidades tuvieron diferentes registros respecto a las frecuencias de los vientos, siendo el primer y segundo cuadrante, los menos predominantes, excepto durante enero del periodo 2014-2015, donde supusieron el 20% del total mensual (fig. 3.5), disminuyendo el mismo mes durante el periodo 2015-2016 hasta el 12%. En contraposición están los vientos del tercer cuadrante, resultando en valores en torno al 20-25% durante todo el periodo de estudio salvo febrero de 2014 y enero de 2016 que alcanzaron valores entre 50-65%. Los vientos procedentes del cuarto cuadrante fueron abundantes durante la primera mitad del año del periodo 2014-2015, aunque reduciéndose durante la segunda mitad del año, sucediendo de manera similar durante el periodo 2015-2016, aunque con los meses de marzo, abril y mayo ligeramente por debajo del 20%. Agosto sin embargo representó hasta el 45%.

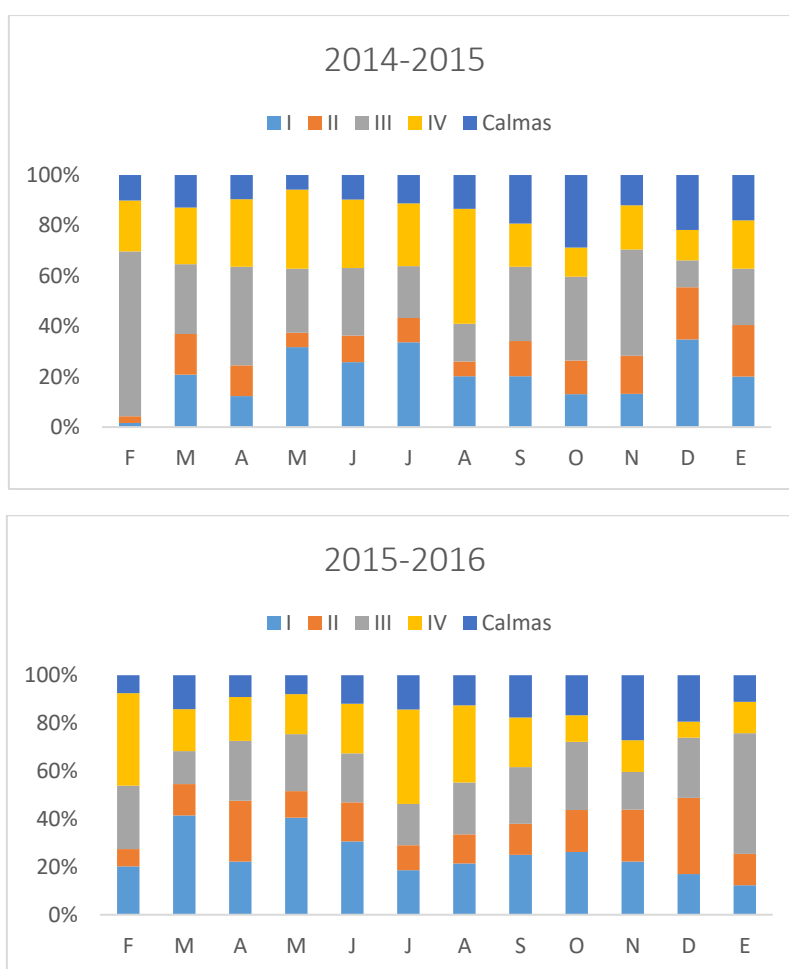


Figura 3. 5. Valores mensuales medios de las frecuencias de vientos durante 2014-2015 y 2015-2016.

La frecuencia de calmas obtuvo valores más o menos estables salvo abril, mayo y junio de 2014-2015, donde alcanzaron valores mínimos aumentando en octubre. Respecto al periodo 2015-2016, se mantienen en valores similares a los del primer periodo siendo más abundantes en esta ocasión durante noviembre.

Insolación

Los valores de insolación media mensual no mostraron grandes variaciones (tabla 3.1), resultando en una media anual de 8 horas durante 2014-2015, respecto a 7,9 horas durante 2015-2016. Como se aprecia en la figura 3.6, el perfil es similar a lo largo del año excepto durante los meses de enero, junio, julio, agosto, octubre y noviembre, donde adopta un perfil serrado. Durante 2014-2015, noviembre registró menor número de horas de luz respecto a 2015-2016, mientras que enero registró casi el doble durante el primer año respecto al segundo, al igual que sucede durante junio y octubre donde 2015 registró menor número de horas. Menores diferencias pudieron apreciarse entre julio y agosto con diferencias anuales entre 0,5 y 1 hora. Este perfil en sierra probablemente sea el causante de una media anual muy similar, ya que mientras un mes sube las horas de luz un año, al siguiente muestra una bajada equivalente.

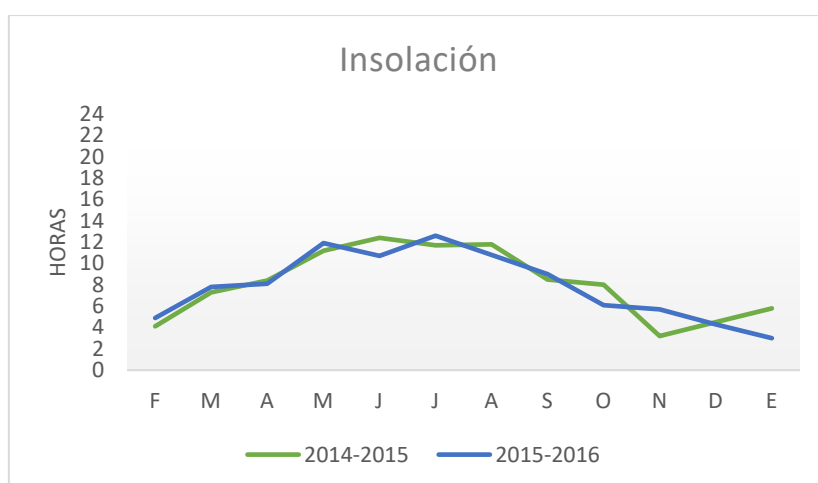


Figura 3. 6. Media mensual de la insolación total diaria a lo largo de los periodos 2014-2015 y 2015-2016.

ESPORAS
AEROVAGANTES DE
LA ATMÓSFERA DE
SALAMANCA

*Estudio del espectro
fúngico durante los
años 2014-2016*

Una vez analizados los diferentes parámetros meteorológicos y sus valores durante el periodo de estudio, se procede a continuación a exponer los resultados referentes a las partículas aerobiológicas (esporas fúngicas y granos de polen), hallados en la atmósfera de Salamanca. En primer lugar se muestra el artículo '**Analysis of the airborne fungal spores present in the atmosphere of Salamanca (MW Spain): a preliminary survey**', publicado en la revista *Aerobiologia*, el cual cuenta con 8 citas al momento de depositar esta Memoria Doctoral.

ARTÍCULO I

Analysis of the airborne fungal spores present in the atmosphere of Salamanca (MW Spain): a preliminary survey

Análisis del contenido de esporas fúngicas en la atmósfera de Salamanca (Centro-Oeste de España): un estudio preliminar

Análisis del contenido de esporas fúngicas en la atmósfera de Salamanca (Centro-Oeste de España): un estudio preliminar

Sergio Fuentes Antón¹, David Rodríguez de la Cruz^{1,2}, José Sánchez Sánchez^{1,2} & Estefanía Sánchez Reyes¹



Aerobiologia (2019) 35: 447-462

DOI: 10.1007/s10453-019-09569-z

Factor de impacto (2019): 2,70

Biology 31/93, Environmental sciences 113/265 (Q2)

RESUMEN

En este artículo se expone un estudio preliminar sobre el contenido fúngico presente en la atmósfera de la ciudad de Salamanca incluyendo un calendario esporal. El muestreo se realizó entre febrero de 2014 y febrero de 2016 y a lo largo de estos dos años de muestreo, *Cladosporium* resultó ser el tipo esporal más abundante junto a *Aspergillus/Penicillium*, ambos presentes de enero a diciembre. Los picos de diversidad y abundancia, fueron establecidos en dos estaciones bien definidas centradas en otoño (especialmente Basidiomycota) y en la primavera tardía. Otros como *Cladosporium* y *Alternaria*, llamadas esporas de aire seco, tuvieron sus máximos en verano. De acuerdo a los patrones intradiarios, los resultados fueron muy similares para los tipos esporales, excepto para *Agaricus*, *Coprinus* y *Periconia* que mostraron un patrón de distribución nocturno. Los parámetros meteorológicos que tuvieron una clara influencia en la distribución esporal fueron la temperatura, en el caso de las esporas de aire seco y la humedad relativa en el caso de las esporas de aire húmedo como *Agaricus* y *Coprinus*, ambos Basidiomicetes.

Palabras clave: *Cladosporium*, Calendario esporal, Aerobiología, España, Parámetros meteorológicos

¹Hispano-Luso Agrarian Research Institute (CIALE), University of Salamanca, Villamayor Campus, Río Duero Street N°12, 37185 Villamayor, Salamanca, Spain.

²Departament of Botany and Plant Physiology, Faculty of Pharmacy, University of Salamanca, Avda Licenciado Mendez Nieto s/n, 37007, Salamanca, Spain.

E-mail: u87950@usal.es



Analysis of the airborne fungal spores present in the atmosphere of Salamanca (MW Spain): a preliminary survey

Sergio Fuentes Antón · David Rodríguez de la Cruz · José Sánchez Sánchez · Estefanía Sánchez Reyes

Received: 6 October 2018 / Accepted: 19 February 2019 / Published online: 1 March 2019
© Springer Nature B.V. 2019

Abstract In this paper, we expose a preliminary study of the airborne fungal spore content in the atmosphere of Salamanca City including a fungal spore calendar. Sampling was carried out between February 2014 and February 2016, and along these 2 years of monitoring *Cladosporium* was the most abundant type followed by *Aspergillus/Penicillium*, both present from January to December. The peaks of diversity and abundance were established in two well-defined seasons focused on autumn (especially basidiomycota) and late spring. Others, like *Cladosporium* and *Alternaria*, called the dry spore types, had their maximum during summer. According to the intradiurnal pattern, the results were very similar for the spore types, except for *Agaricus*, *Coprinus* and *Periconia* that showed a nocturnal release pattern. The meteorological factors that had a clearly influence on the spore distribution were temperature, in the case of the dry spore types, and relative humidity in the case

of wet air spores like *Agaricus* and *Coprinus* both basidiomycetes.

Keywords *Cladosporium* · Spore calendar · Aerobiology · Spain · Meteorological parameters

1 Introduction

The study of the airborne content of biological particles is becoming more and more relevant due to the relationship that exists between the science that studies these particles, aerobiology, and other sciences such as medicine (Bush and Portnoy 2001; Tham et al. 2017), agriculture (Frenguelli 1998; Magyar et al. 2006), urban environment (Damialis et al. 2017; Pyri and Kapsanaki Gotsi 2017) and more recently works about the climate change and its influence on other fields (Kaczmarek et al. 2016). In the aerosol, there exist both pollen grains and fungal spores among other biological particles such as viruses, bacteria and other microorganisms and plant material as well as inorganic particles such as air pollutants and dust. The pollen content has been studied for centuries, and there does exist a great number of studies in palynology, including not only about pollen behaviour, quantity or distribution in the atmosphere (Aira et al. 2013), but also about the influence of meteorological factors on their concentrations (Sánchez Reyes et al. 2009a; Skjøth et al. 2016) and the intensity of pollen seasons

S. F. Antón (✉) · D. R. de la Cruz · J. S. Sánchez · E. Sánchez Reyes
Hispano-Luso Agrarian Research Institute (CIALE),
University of Salamanca, Villamayor Campus, Río Duero
Street N°12, 37185 Villamayor, Salamanca, Spain
e-mail: u87950@usal.es

D. R. de la Cruz · J. S. Sánchez
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of
Pharmacy, University of Salamanca, Avda Licenciado
Mendez Nieto s/n, 37007 Salamanca, Spain

related to clinical aspects (Heinzerling et al. 2009; Rodríguez et al. 2011).

Nevertheless, the fungal spores are not so well known. As Grinn Gofroń and Bosiacka suggest (2015), the aeromycota has been extensively studied, but these pieces of research were carried out in several countries and continents where their importance could be related to specific climatic conditions (Ho et al. 2005), polluted cities (Pyrri and Kapsanaki Gotsi 2017) or medical interests (Chen et al. 2014).

In regard to Europe, several papers exist in different countries like Romania (Ianovici 2016), Austria (Haas et al. 2014), Portugal (Almeida et al. 2018) and Hungary (Magyar et al. 2018), among others. There are certain countries such as Poland (Kasprzyk and Worek 2006; Grinn Gofroń et al. 2016b), France (Sindt et al. 2016) or the UK and Ireland (O'Connor et al. 2014; Sadyś et al. 2016; Sadyś 2017) with a great amount of research in aerobiology, not only in pollen studies but also in fungal spores. Most of these countries have cold climates in which fungal spores can exhibit a different behaviour compared to the Mediterranean region. In that sense, the studies conducted in this area could be interesting for the climate similarities with other countries as Greece (Damialis and Gioulekas 2006), Turkey (Erkara et al. 2008) and Morocco (El Haskouri et al. 2016; Bardei et al. 2017).

In Spain, studies related to the fungal aerosol are very scarce and mostly include data from last several decades (Domínguez Santana and La Serna 1998; Pérez Gorjón et al. 2003; Morales et al. 2006). However, within the last 10 years, new articles have been published in several points of the Iberian Peninsula (Aira et al. 2012) and more specifically in Catalonia (Vélez Pereira et al. 2016), Andalusia (Martínez Bracero et al. 2018) and Castilla–La Mancha (Sabariego et al. 2012) and cities closer to Salamanca with similar weather conditions, such as Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2016), Mérida and Plasencia (Hernández Trejo et al. 2012; Maya Manzano et al. 2016).

The difficulty that implies the study of the fungal aerosol is due to the great number of spores present in the atmosphere, added to the ubiquitous fungi distributed widely, induced the low amount of recent research. This is why spore calendars are still rare to find, with only a few studies distributed worldwide, in places like Australia (Mitakakis and Guest 2001),

India (Das and Gupta Bhattacharya 2008), Habana (Almaguer et al. 2015), Poland (Bednarz and Pawlowska 2016) and Spain (Sánchez Reyes et al. 2016). In other surveys, the spore calendar includes one or two different spore types (Katotomichelakis et al. 2016).

This paper aims at the increase in the knowledge of the seasonal behaviour of fungal spores in the middle west of the Iberian Peninsula, through the elaboration of a preliminary spore calendar that could be useful for patients who are sensitive to some types of spores. In the same way, we want to increase the knowledge of their hourly behaviour as well as the influence of meteorological parameters on their atmospheric levels.

2 Materials and methods

The study has been carried out in the city of Salamanca (40°58'N; 5°39'W), located in the middle west of Spain, at a height of 802 m.a.s.l, and belonging, from the biogeographical point of view, to the Mediterranean region (Rivas Martínez 2007). The city is surrounded by arable farming lands to the north-east and by wide expanses of Mediterranean pastures (called *dehesas* in Spanish) to the south and west. The climate is continental cold tempered with a dry season (Capel Molina 2000), characterized by long winters, with several frosts through the year, and summer when a hard drought always takes place. In Salamanca, according to a 30-year average (1981–2010), the annual mean temperature is 12.2 °C with a mean temperature of 18.7 °C during the hottest month and a low rainfall average (372 mm) through the year.

The monitoring was conducted from 17 February 2014 to 16 February 2016, both included. Fungal spores were captured by using a Hirst (1952) spore trap sampler, placed on the roof of the Pharmacy's building at 25 m above ground level. The trap sucked 10 l of air per minute through a small aperture in the front side as it explains the minimum requirements for the aerobiological monitoring (Galán et al. 2014). According to the methodology established by the Spanish Aerobiology Network (Galán et al. 2007), the spores were counted in four longitudinal traverses of contiguous fields along the length of the slide, of equal width, at 400 × magnification in an optical microscope. Daily data are expressed as spores/m³ (Galán

et al. 2017). For spores identification, different keys and texts were used (Grant Smith 2000; Sáenz and Gutiérrez-Bustillo 2003), identifying the spores to the genus level. In that sense, we considered *Aspergillus* and *Penicillium* together as one single category (*Aspergillus/Penicillium* type) because it is difficult to separate both genera (Pyrrri and Kapsanaki Gotsi 2007; Almaguer et al. 2015). Also, the category of “others” includes all the unidentified and damaged spores.

The spore calendar was performed according to the Spieksma’s model (Spieksma 1991) but was adapted for spore types (Sánchez Reyes et al. 2016), classifying the 10-day mean concentration into eleven different categories. The order indicated in the calendar was based on their appearing in the air spectra, including only the spore types that showed an annual percentage equal or greater than 1%.

The statistical analysis was performed only for those spore types whose representation percentages reached, together, 90% of the annual total (*Agaricus*, *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Leptosphaeria*, *Periconia* and total spore concentration).

In that sense, we first studied the most relevant characteristics of their main spore season (MSS) (total spore concentration in the MSS—90%, starting and ending date of the MSS, MSS length, peak day and peak values). The MSS was defined with the method that calculates the start of this period when the 5% of the total year spore record was registered, and the end with the 95% captured (Nilsson and Persson 1981). Along with the MSS, we also made a seasonal periodicities study to see the fungal spores behaviour through the months and establish the prevalence in the atmosphere of the aeromycota. For this proposal, we created graphics with the monthly sum of spores.

For the intradiurnal variation study, we chose one model, in which the importance was altered whether it rained or not (Galán et al. 1991; Aira et al. 2003). First, the daily average of the spore types was calculated using the total days of the MSS period through the 2 years of study, and for the hourly concentrations, we only selected the dry days with a daily value equal or higher than the average calculated. Taking into account only these selected days, we calculated the hourly average concentrations. For graphical representation, the concentrations were expressed in terms of 2-h mean percentage.

The influence of the meteorological factors on the spore concentration during the MSS was analysed with the SPSS software (version 23), using the Spearman nonparametric correlation test as the daily data were neither normally nor log-normally distributed. The meteorological factors studied were mean, maximum and minimum daily average temperature (°C), total daily rainfall (mm), daily average wind speed (km/h), daily average frequency of winds from different quadrants (north-easterly, south-easterly, south-westerly and north-westerly) (%), daily average frequency of calms (%) and daily average sunshine (%). All the meteorological data have been delivered by the Spanish State Meteorological Agency (AEMET), obtained from the station located at Matacán Airport (40°57'N; 5°29'W; 790 m.a.s.l.), 15 km away from Salamanca City.

3 Results

3.1 Main spore season of different taxa

A total of 57 different spore types were identified during the 2 years of study, and all those broken or unidentified spores were included in the others category (Table 1). The total number of spores recorded in the 2 years of the study was similar, although it was lower during the second year (238,935 spores in 2014 and 210,943 spores in 2015). In both years, the season when the spore trap registered the highest quantity was summer (the mean value was around 45% of the total spore concentration), followed by autumn (31%) and spring (17%). Winter was the least abundant season with a 7% mean value of the total spore concentration.

Cladosporium was the most abundant genus (166,748 spores in 2014 and 154,804 in 2015), followed by *Aspergillus/Penicillium* type which decreased in 2015 (13,282 spores) with respect to the previous year (25,987), as it is shown in Table 2. The rest of the spore types analysed did not reach 10,000 spores per year. *Cladosporium* spores also reached the highest daily value (5746 spores/m³ in 2014 and 4514 in 2015) in both years in July (21st and 27th, respectively) in contrast to *Leptosphaeria* with the lowest peak levels (103 and 44 spores/m³) in April and July. *Agaricus*, *Alternaria* and *Coprinus* had similar values in MSS during 2014 (6792, 6073 and 6464 spores, respectively) (Table 2). In addition, *Agaricus*

Table 1 List of all spores identified during the 2 years of study

| Spore types identified during 2014–2016 | |
|---|--------------------------|
| <i>Agaricus</i> | <i>Leptosphaerulina</i> |
| <i>Agrocybe</i> | <i>Lophiostoma</i> |
| <i>Alternaria</i> | <i>Massarina</i> |
| <i>Ascobolus</i> | <i>Myxomycetes</i> |
| Ascospores | <i>Nigrospora</i> |
| <i>Aspergillus/Penicillium</i> type | <i>Octospora</i> |
| <i>Bovista</i> | <i>Oidium</i> |
| <i>Caloplaca</i> | <i>Paraphaeosphaeria</i> |
| <i>Capronia</i> | <i>Passalora</i> |
| <i>Cercospora</i> | <i>Periconia</i> |
| <i>Cerebella</i> | <i>Peronospora</i> |
| <i>Chaetomium</i> | <i>Phaeosphaeria</i> |
| <i>Cladosporium</i> | <i>Phylacteria</i> |
| <i>Coprinus</i> | <i>Pleospora</i> |
| <i>Curvularia</i> | <i>Polythrincium</i> |
| <i>Deightoniella</i> | <i>Pteridium</i> |
| <i>Diatrypaceae</i> | <i>Puccinia</i> |
| <i>Deschlera</i> | <i>Pithomyces</i> |
| <i>Entoloma</i> | <i>Saccobolus</i> |
| <i>Epicoccum</i> | <i>Spegazzinia</i> |
| <i>Exosporium</i> | <i>Spondilocladia</i> |
| <i>Fossombronia</i> | <i>Sporormiella</i> |
| <i>Fusarium</i> | <i>Stemphylium</i> |
| <i>Ganoderma</i> | <i>Tilletia</i> |
| <i>Helicoma</i> | <i>Torula</i> |
| <i>Helminthosporium</i> | <i>Ustilago</i> |
| <i>Inocybe</i> | <i>Venturia</i> |
| <i>Isthmospora</i> | Xylariaceae |
| <i>Leptosphaeria</i> | Others |

and *Coprinus*, both belonging to basidiomycota, showed the same peak day in November, during 2014 and 2015 (22nd and 4th, respectively). *Alternaria* showed a late start in the 2 years (May 8 and 4), a similar peak value (286 spores/m³ in 2014 and 291 in 2015) and a similar MSS length (171 days in 2014 and 191 in 2015). *Periconia* spores displayed a winter behaviour reaching the maximum peak value in December (2014) and November (2015). During 2015, the MSS length was 1 month shorter, although in both years the start date was almost the same (March 20 and 19).

3.2 Seasonal periodicities

Seasonal behaviour of the most representative types (*Agaricus*, *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Leptosphaeria*, *Periconia* and total spore concentration) are presented in Fig. 1. *Agaricus* reached the maximum concentration (1530 and 3548 spores) in October and November coinciding with autumn in the 2 years. *Alternaria* showed a calm pattern except in summer when it reached the maximum values in July (3243 spores) and June (1468 spores) for 2014 and 2015, respectively. *Aspergillus/Penicillium* had a low concentration except during May of 2014 (15,719 spores) when they presented their maximum value and the monthly peak in the 2 years of study, although during 2015, they showed a decrease (4214 spores) (Fig. 1). *Cladosporium* exhibited an irregular pattern with several peaks through the year, having the most abundant concentration in summer (63,016 spores in July 2014) and early autumn (22,084 spores in October, 2015). *Coprinus* only had a representative peak in 2014 (2102 and 1949 spores) in October and November, respectively, keeping low values in 2015. *Leptosphaeria* displayed high spore levels in spring (677 spores in April) and winter (626 spores in November) during 2014, while in 2015 a great spore presence was recorded in June (447 spores). *Periconia* showed a winter pattern having the maximum value in 2015 (2082 spores in November), and the total spore concentration had a regular pattern except for July 2014 in which 70,869 spores were registered due to the presence of *Cladosporium* spores (Fig. 1).

3.3 Spore calendar

According to the Spieksma's classification, only the total spore concentration reached the maximum spore level (class 11), with more than 1600 spores/m³ during the first 10 days of June. *Cladosporium*, as the most abundant spore type, showed a class 10 (800–1600 spores/m³) from June to the first 10 days of September. *Aspergillus/Penicillium* had the maximum concentration peak in the first 10-day mean of May (400–799 spores/m³; Class 9), decreasing through the year. *Agaricus* was registered in a class 7 (100–199 spores/m³) in the last 10 days of October and first 10 days of November. Both *Alternaria* and *Coprinus* reached an exponential class 6, with a

Table 2 Main spore season (MSS) of the main spore types studied

| | Total MSS (90%) | Start MSS | End MSS | MSS length (days) | Peak day | Peak value (spores/m ³) |
|--------------------------------|-----------------|-----------|---------|-------------------|----------|-------------------------------------|
| 2014 | | | | | | |
| <i>Agaricus</i> | 6792 | 7-Apr | 15-Jan | 284 | 22-Nov | 139 |
| <i>Alternaria</i> | 6073 | 8-May | 25-Oct | 171 | 9-Jul | 286 |
| <i>Aspergillus/Penicillium</i> | 25,987 | 19-Apr | 18-Nov | 214 | 12-May | 2103 |
| <i>Cladosporium</i> | 166,748 | 17-Apr | 7-Dec | 235 | 21-Jul | 5746 |
| <i>Coprinus</i> | 6464 | 2-Apr | 6-Dec | 249 | 22-Nov | 209 |
| <i>Leptosphaeria</i> | 3958 | 17-Mar | 13-Jan | 303 | 15-Apr | 103 |
| <i>Periconia</i> | 4050 | 20-Mar | 27-Jan | 314 | 30-Dec | 339 |
| Total | 238,935 | 11-Apr | 15-Dec | 249 | 21-Jul | 5945 |
| 2015 | | | | | | |
| <i>Agaricus</i> | 9735 | 2-May | 3-Jan | 247 | 4-Nov | 477 |
| <i>Alternaria</i> | 5049 | 4-May | 10-Nov | 191 | 17-Jun | 291 |
| <i>Aspergillus/Penicillium</i> | 13,282 | 14-Apr | 9-Dec | 240 | 4-May | 733 |
| <i>Cladosporium</i> | 154,804 | 14-Apr | 27-Nov | 228 | 27-Jul | 4514 |
| <i>Coprinus</i> | 3492 | 9-Mar | 1-Feb | 330 | 4-Nov | 59 |
| <i>Leptosphaeria</i> | 2966 | 7-Apr | 1-Feb | 301 | 30-Jul | 44 |
| <i>Periconia</i> | 5861 | 19-Mar | 9-Dec | 266 | 19-Nov | 303 |
| Total | 210,943 | 17-Apr | 5-Dec | 233 | 1-Aug | 4746 |

number of spores between 50 and 99 spores/m³, but their presence in the atmosphere changed in both cases, finding *Alternaria* spore maximum during the second 10 days of June and all July, while *Coprinus* appeared at its maximum during the second 10 days of November. Other two types that reached an exponential class 6 were *Periconia* and *Pleospora* which reached the maximum values in November and April, respectively. *Bovista* (September), *Epicoccum* (October–November) and *Ganoderma* spores (August–September) showed high concentrations in an exponential class number 5 (24–49 spores/m³). The other spore types (*Leptosphaeria* and *Myxomycetes*) had low values (12–23 spores/m³; class 4), and the category of others revealed 29–49 spores/m³ (exponential class 5) during April (Fig. 2). According to the permanence in the atmosphere, all the spore types reached a 10-day average equal or higher than 1% throughout the year, except for *Ganoderma* spores which only appeared during 26 of the 36 10-day mean periods, from the end of March to the beginning of December.

With regard to the diversity of fungal spore types, maximum values were registered during spring and autumn. In the first year of the study, the spore trap

caught 47 different types in spring and 46 in autumn, while in 2015 the spore types were 43 during spring and 50 in autumn. In both cases, the different spore types constituted a percentage between 75 and 80% of the total spore diversity at these two seasons. Over the course of the 2 years, the quantity of different spores changed according to the meteorological factors. Although in summer the highest values were registered, especially in June–July, due to the major amount of *Cladosporium*, the two main dispersal seasons were well defined in late spring (April–May) and autumn (September–November). On the other hand, the season with the less fungal spore diversity was winter, in which the cold months (January–February) induced a decrease in the presence of several spores.

3.4 Intradial variations

The different fungal spore types showed a pattern with similar results in the 2 years of the study but with differences between the spore types and the hourly distribution (Fig. 3). In that sense, we classified the aeromycota into three categories, morning, afternoon and night spores, depending on their releasing pattern.

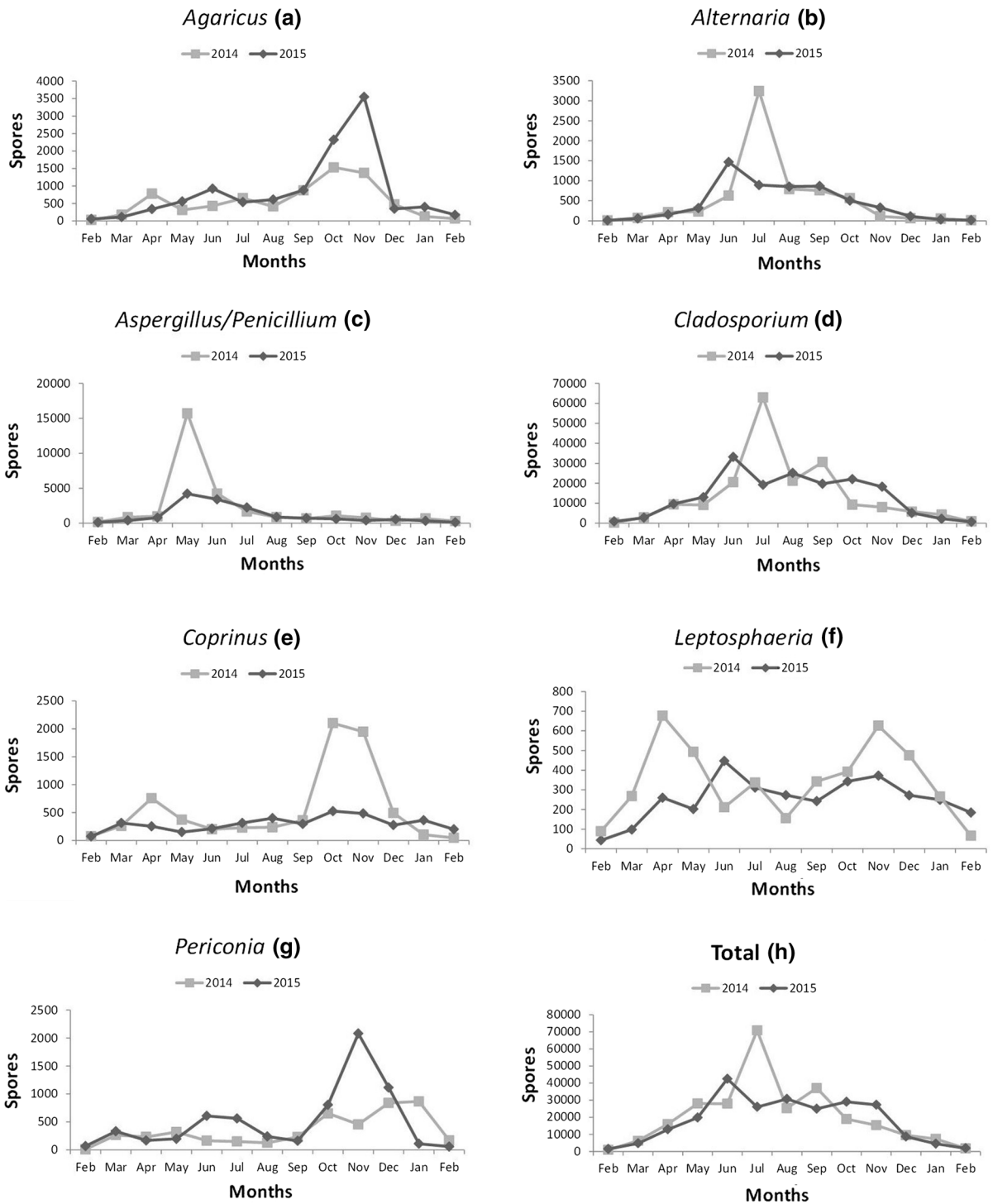


Fig. 1 Seasonal periodicities of the main spore types in the atmosphere of Salamanca

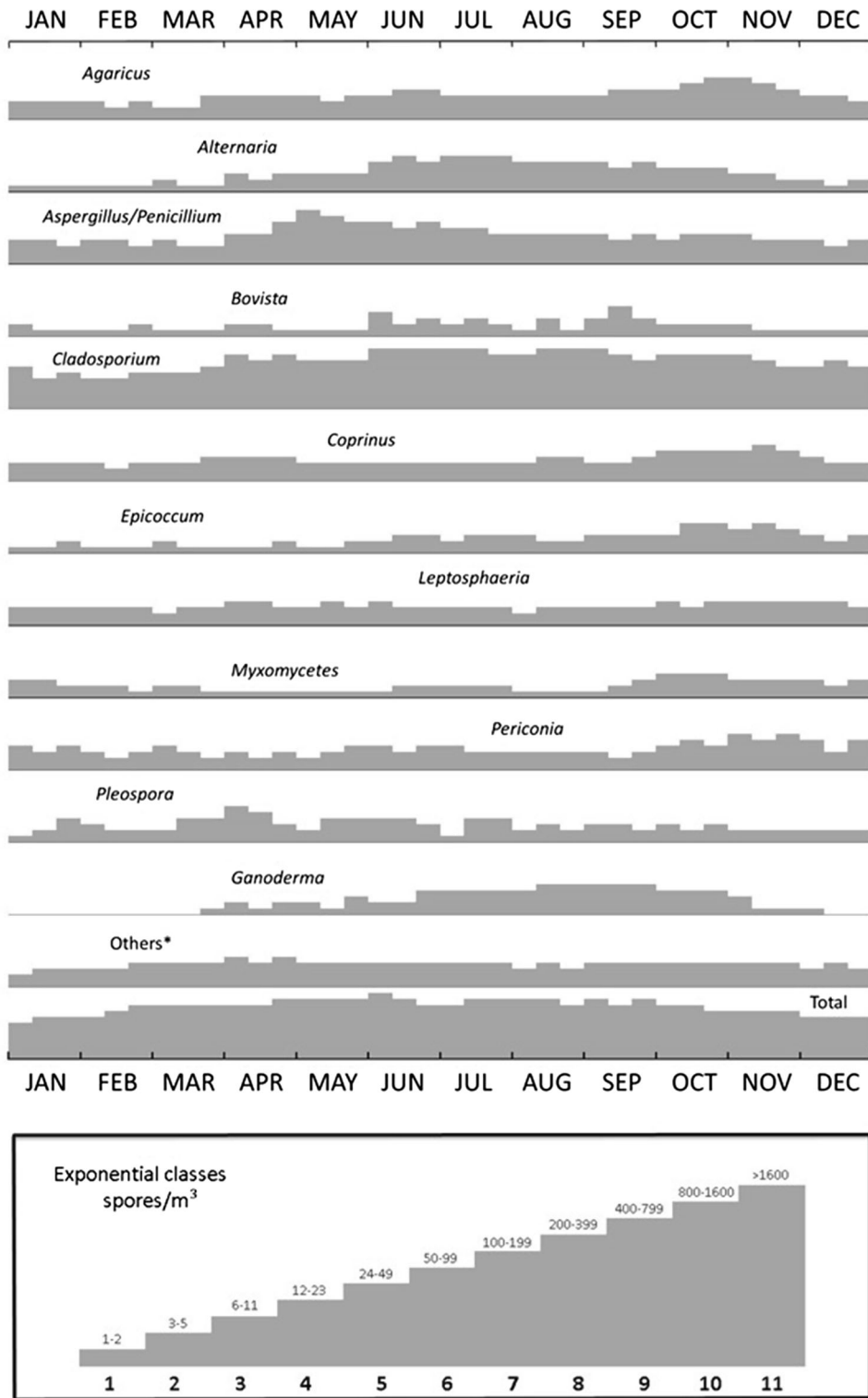


Fig. 2 Spore calendar for Salamanca City. *Including unknown spores and those spores that presented percentage lower than 1%

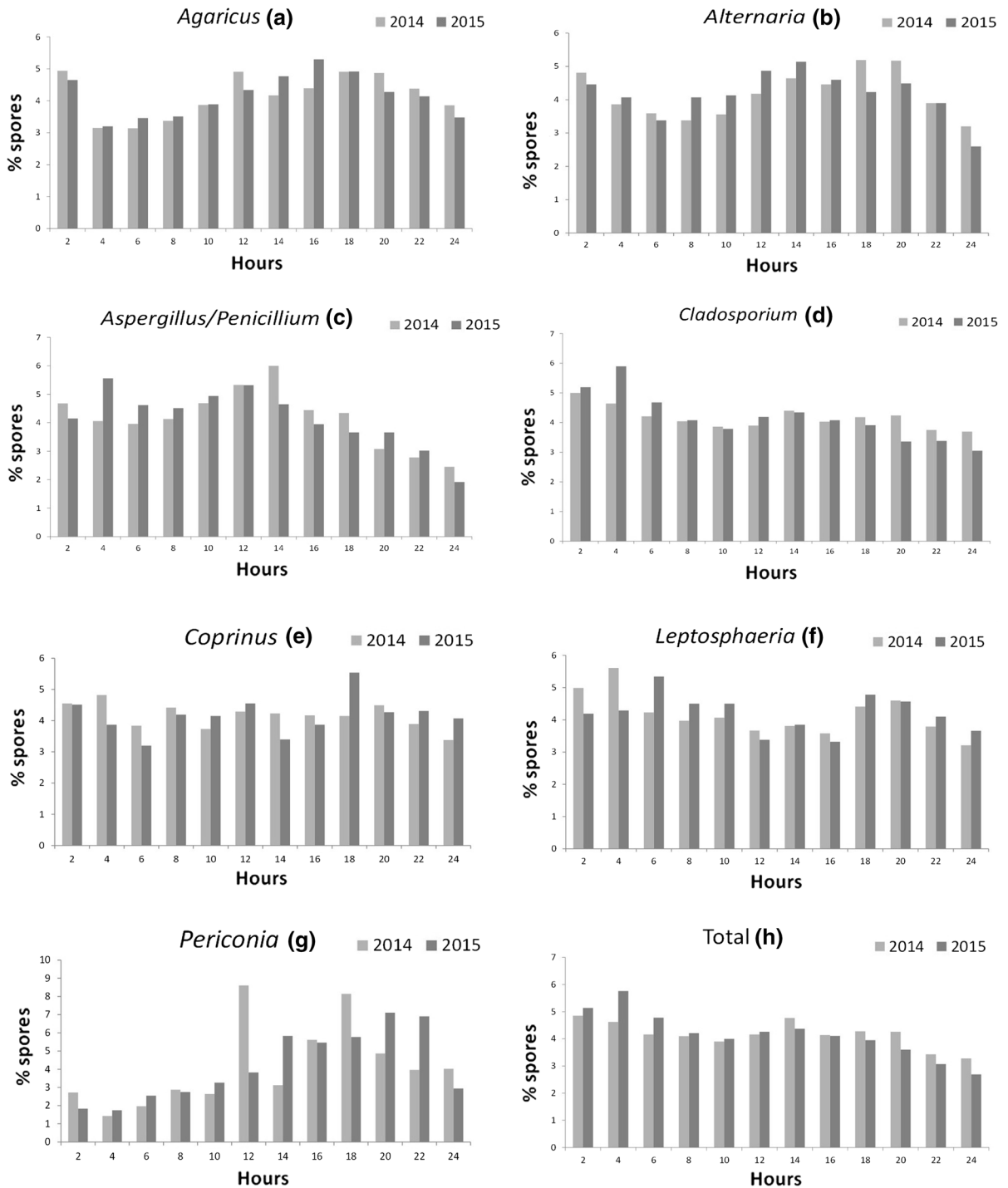


Fig. 3 Fungal spores intradiurnal patterns (2 h mean)

According to the first hours of the morning, *Cladosporium* and *Leptosphaeria* showed peaks between 2 and 4 h, maintaining the spore

concentration stable without peaks in the afternoon and decreasing at 22 h. *Alternaria* and *Aspergillus/Penicillium* spore types showed an increment through

the evening, lasting until the first hours of the night in the case of *Alternaria*. Those spores which showed a nocturnal release pattern were *Agaricus*, *Coprinus* and *Periconia* which revealed increments since 6 h, in the case of *Agaricus*, and 10 h for *Periconia*, with a few hours of delay for *Coprinus*. As Fig. 3 shows, the spore concentration for *Periconia* increases after 12 h but, due to the different concentration values between the 2 years, we cannot confirm a trend in the 12–24-h interval. The total sum of spores showed the same intradiurnal pattern than *Cladosporium* due to the great abundance of this type in the atmosphere.

3.5 Correlations with meteorological parameters

The results of the different correlations with meteorological patterns were represented in Table 3. According to the values obtained, the maximum positive correlation was 0.442, being the rest of the results not very high. Moreover, with only 2 years of data it is not possible to confirm that these results are conclusive and results should be improved including more data in future analysis. Only two spore types obtained negative correlation coefficients with temperature (*Coprinus* and *Leptosphaeria*). Furthermore, *Periconia* showed no significance with the maximum and mean temperature, but it was negatively correlated with the minimum temperature.

Rainfall obtained negative correlation coefficients with all the spore types, except for *Agaricus* and *Leptosphaeria*, whereas *Coprinus* was positively correlated with relative humidity along with *Agaricus* and *Leptosphaeria*.

Only *Aspergillus/Penicillium* displayed a significant positive influence by wind speed (Table 3). *Alternaria* and *Cladosporium* registered a high positive correlation with the north-easterly and south-easterly winds. In the case of south-westerly winds, *Agaricus*, *Coprinus* and *Leptosphaeria* were positively correlated with this parameter. Frequency of calms only showed a positive relationship with *Agaricus*, *Coprinus* and *Periconia* and a negative correlation with *Aspergillus/Penicillium* type. Sunshine is positively correlated with total fungal spore levels, displaying a little negative influence in the case of *Agaricus*.

Table 3 Spearman correlation coefficients obtained between mean daily spore concentration and meteorological factors during the main spore season (MSS)

| | T_{max} | T_{min} | T_{mean} | R | RH | WS | Wind NE | Wind SE | Wind SW | Wind NW | CF | Sunshine |
|--------------------------------|-----------|-----------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| <i>Agaricus</i> | | | | .128** | .127** | -.130** | | | .093* | | .086* | -.092* |
| <i>Alternaria</i> | .442** | .253** | .413** | -.345** | -.248** | -.216** | .224** | .111* | -.195** | | | .128* |
| <i>Aspergillus/Penicillium</i> | .331** | .225** | .315** | -.195** | -.494** | .225** | | -.162** | | .124** | -.223** | .140** |
| <i>Cladosporium</i> | .373** | .357** | .396** | -.211** | -.168** | -.209** | .233** | .178** | -.183** | | | |
| <i>Coprinus</i> | -.141** | -.143** | -.155** | -.151** | .258** | -.130** | -.110** | | .100* | | .133** | .135** |
| <i>Leptosphaeria</i> | -.215** | | -.151** | .386** | .328** | | -.93* | | .127** | | | |
| <i>Periconia</i> | | -.134** | | -.195** | | -.220** | | .193** | | | .139** | |
| Total | .364** | .339** | .377** | -.140** | -.215** | -.122** | .183** | .134** | -.129** | | | .102* |

T_{max} mean daily average temperature (°C), T_{min} minimum daily average temperature (°C), T_{mean} minimum daily average temperature (°C), R total daily rainfall (mm), RH daily average relative humidity (%), WS daily average wind speed (km/h), $Wind NE$ daily average frequency of north-easterly winds (%), $Wind SE$ daily average frequency of south-easterly winds (%), $Wind SW$ daily average frequency of south-westerly winds (%), $Wind NW$ daily average frequency of north-westerly winds (%), CF daily average frequency of calms (%), $Sunshine$ daily average sunshine (%)

Significance levels: *95%; **99%

4 Discussion

Airborne fungal spore diversity and their abundance found in our study match other papers from different areas of the world where *Cladosporium* spores were also the most abundant spore types in the atmosphere (Hasnain et al. 2012; Almaguer et al. 2015; Khan et al. 2016). The different spore types were distributed in the late spring and autumn, but *Alternaria* and *Cladosporium* showed their maxima in July, probably due to the increase in temperature. The high presence of *Alternaria* during June–August was connected to the harvest period, which increased the levels of this spore types in the atmosphere, as indicated by Corden et al. (2003). The distribution of *Cladosporium* occurs during the warm and dry season, the maximum values being obtained in July and June (2014 and 2015, respectively) (Fig. 1). This distribution coincides with other studies from different cities of Spain, such as Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2009b) and other countries in the Mediterranean region (Pyrri and Kapsanaki Gotsi 2017). *Aspergillus/Penicillium* spore types had a peculiar behaviour. As Hasnain et al. (2012) already set, these fungal spores do not show a clear seasonal pattern and the spores are distributed over different months in different countries, as pointed out in research carried out in Mexico (Rosas et al. 1993), Ireland (O’Gorman and Fuller 2008) and Jordan (Abu Dieyeh et al. 2010). Recently, Pyrri and Kapsanaki Gotsi (2015) exposed that the absence of a well-defined seasonal pattern was because *Aspergillus* and *Penicillium* spores had overlapping patterns, and the concentration of *Aspergillus* increases during summer, while that of *Penicillium* decreases.

The group of basidiospores, *Agaricus* and *Coprinus*, had a very similar monthly distribution according to their requirements of humidity and organic substrate. The main release season for both spore types was autumn, more specifically in the case of *Coprinus* which needs a high humidity in the soil for the development of its carpophore (Aira et al. 2003). Although *Agaricus* also needs humidity, it can also grow in other seasons like summer and in other countries with high temperatures (Hasnain et al. 2005). In most cases, this could be possible due to the presence of gardens and wet areas within cities.

Leptosphaeria showed high atmospheric levels in June 2015, although its daily peak during that year fell on July 30. This could be explained by the fact that, as

pointed out by Grinn Gofroñ et al. (2016a), spores can be blown from crops located 400 km away, and this happens in early July. *Periconia* showed a typical pattern of a wintry spore type, like other surveys pointed out (Sánchez Reyes et al. 2012, 2016). During 2015, the spores had an increase in June–July, probably due to the minimum temperature registered in some days of these months, lower than 10 °C, and within the affinity ranges of *Periconia* (Pérez Gorjón et al. 2003).

In the case of the total spore count, we could verify that the most abundant type of spores (*Cladosporium*) was the one that determined the seasonal distribution of the total sum of airborne spores. Similar results were noted in other studies (Sabariego et al. 2007; Sánchez Reyes et al. 2009b) in which the total spore graphic took the same morphology than *Cladosporium* data. The MSS length of the total concentration was very similar in the 2 years, being registered from April to December, due to the major types of *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium* and *Cladosporium* spores being inside the total MSS.

Taking a look at the spore calendar (Fig. 2), *Cladosporium* representation in the total airborne spectrum is similar to other studies carried out in the Iberian Peninsula (Aira et al. 2012; Almeida et al. 2018) and in other remote geographical areas such as Australia (Irga and Torpy 2016). The abundance of *Cladosporium* spores in the atmosphere was also reported by several authors (Sánchez Reyes et al. 2016; Sousa et al. 2016; Almaguer Chávez et al. 2018), and one of the factors that influences its distribution is the climatic conditions needed for sporulation; optimal temperature for *Cladosporium* development must be between 13 and 21 °C (Sabariego et al. 2000). On the other hand, *Cladosporium* is related to the urban environment, as it was pointed out by Pérez Gorjón et al. (2003). Together with *Cladosporium*, other two spore types (*Aspergillus/Penicillium* type and *Agaricus*) were registered in high values. *Agaricus*, *Aspergillus/Penicillium* and *Cladosporium* appear in the aerobiological bibliography several times as the most abundant spore types (Morales et al. 2006; Hasnain et al. 2012; Haas et al. 2014; Pyrri and Kapsanaki Gotsi 2017). *Aspergillus/Penicillium* spore types were registered with the highest monthly values during May (Table 2), and their values were kept high until August. Adhikari et al. (2006) obtained similar values for these spore

types with the highest concentrations happening between June–August, but these results might be different from country to country as Abu Dieyeh and collaborators pointed out (2010), with the peaks of *Aspergillus* and *Penicillium* spores changing depending on the different regional and local parameters. The presence of *Agaricus* as the third most abundant spore type is not rare because the fact that these fungi produce a great number of spores and are widely distributed (Hasnain et al. 2005). The fruit bodies can be found in different periods of the year, not only in autumn. In this study, the monthly maximum was detected in November, but the main spore season started in April–May and then there were little peaks during June in the first year and July in the second. This is because in the urban parks and gardens, the conditions for the growing of *Agaricus*, both humidity and substrate are the most adequate. Furthermore, in the surrounding area of the city of Salamanca, forest can be found. Here, the increase in dead matter in autumn induces the growing of *Agaricus* in a great number of locations.

On the other hand, *Alternaria* was not one of the most abundant spore types, unlike what other research pointed out (Grinn Gofroñ and Bosiacka 2015; Khan et al. 2016) and the results were different from other similar studies. In the study performed in Sánchez Reyes et al. (2016) found a great quantity of these spores, with it being distributed with maximum values in summer. These high values probably were related to the location of Valladolid in the centre of the Iberian Peninsula and the fact that it was totally surrounded by farming lands and Salamanca only had this situation in the north-east quadrant. The low presence of *Alternaria* spores facing the massive abundance of *Cladosporium* and *Aspergillus/Penicillium* spores can be explained, not only by the distance to the farming lands, but also by the size of the spores. Compared to *Cladosporium*, *Alternaria* spores are heavier (Hasnain et al. 2012) and temperature for their optimal growth is higher than for *Cladosporium* spores (Fernández et al. 1998); hence, the distribution of *Alternaria* spores was established in the summer months. It is important to point out that *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium* and *Cladosporium* spores have been studied for a great number of years due to their relation to human health. Licorish et al. (1985) studied how *Alternaria* and *Penicillium* influence the development of asthma, and most recently it has been established that

Cladosporium spores affect the respiratory process, when daily concentrations of 1500 spores/m³ are observed (Chen et al. 2014). The levels of *Cladosporium* spores exceeded that limit during 33 days in 2014 and during 15 days in 2015. This may affect the allergic population especially during July when these spore types occur in peak values (5746 spores/m³ in 2014 and 4514 spores/m³ in 2015) (Table 2).

Coprinus spores had a relatively regular pattern during 2015, but during the first year of sampling these spores showed two periods with the greater presence in the atmosphere, one in April and another during October–November, although in the 2 years the peak day was detected in November (Table 2), when the optimal conditions of humidity were present (Aira et al. 2003). In the case of *Periconia*, the results obtained were very similar to the study conducted in Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2016), which indicated a major presence of these spore types in the winter period. Other study conducted in Salamanca (Pérez Gorjón et al. 2003) established that *Periconia* had affinity for low temperatures (under 10 °C). In other parts of the world, a different behaviour shows increase in the spore levels in the atmosphere with a lower relative humidity and the presence of sandstorms (Ho et al. 2005).

The least abundant spore type in the atmosphere was *Leptosphaeria*. These spores were studied in several occasions due to their implication in agriculture, as it damages the oilseed rape crops worldwide (Magyar et al. 2006; Jedryczka et al. 2008), and also in human health as it causes symptoms of asthma (Tham et al. 2017; Sadyś et al. 2018). In the majority of research, these spores appear in great number and always in humid countries or those with high rainfall levels (Mallo et al. 2011; Almaguer Chávez et al. 2018), but in our study *Leptosphaeria* barely exceeded 1.5% of the total spore count, probably due to the low presence of oilseed rape crops in the outskirts of the city. The other spores that reached at least 1% of representation were *Bovista Epicoccum*, *Ganoderma* the *Myxomycetes* type and *Pleospora*. *Ganoderma* and *Pleospora* reached high concentrations in the study conducted in Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2016), but in this survey *Ganoderma* was the spore with less presence during the years in which our study was carried out (registered from the end of March to the first 10 days of December). These results were similar to other study conducted in Valladolid (Sánchez Reyes

et al. 2007) where *Ganoderma* was registered from mid-July to October, but the authors found a smaller amount of spores probably due to the absence of the substrate necessary for their development. On the other hand, the remaining five spore types did not reach the 90% of the total spore count.

In the intradiurnal variations, the spores had a regular pattern of distribution in the atmosphere throughout the day, with moments of the greater abundance in the first hours and at midnight (Fig. 3). The total spore count had almost the same intradiurnal pattern due to the abundance of *Cladosporium*. For the analysis of the rest of the spores, we established a three-type classification according to the hourly pattern obtained. The spores that showed a morning distribution were *Cladosporium* and *Leptosphaeria*. *Cladosporium* spores showed their maximum values from 2 h to 4 h in 2015 decreasing until late afternoon night, while in 2014 decreasing until afternoon. A similar result was registered by Adams (1964) in the UK and other authors who confirmed that the maximum values of *Cladosporium* began at 09:00 am (Sadyś 2017). Then, the values start to increase a little and remain increased through 18 h when they come back down. *Leptosphaeria* had a similar pattern with the maximum value in the first hours of the day decreasing during the afternoon and growing again at 16 h to decrease at 20 h, being similar results to other surveys which registered a diurnal pattern between 03:00 am and 13:00 pm (Huang et al. 2005). In the afternoon pattern, *Alternaria* spores registered a clear release trend from 8 h to 14 h when spore concentrations started to decrease. This pattern was also observed by Bardei et al. (2017) and other authors who established that the risky hours for people with allergy to this particular type were during the evening (Maya Manzano et al. 2016). For *Aspergillus/Penicillium* spores, a greater abundance was recorded in the late hours of the day and a maximum value in the early hours of the morning. These results were the same as Grinn Gofroń (2011) obtained and other studies which confirmed that *Aspergillus/Penicillium* spores had high hourly concentrations in the late afternoon and early morning (Oliveira et al. 2009a, b). The spores with a typical nocturnal dispersal pattern were *Agaricus*, *Coprinus* and *Periconia*. *Agaricus* needs a high humidity for its growth and release, and this is the main cause for a night pattern release, as night temperature was mild and the relative humidity

increased. In addition, during the first hours of the morning the conditions were suitable for the *Agaricus* spores presence (Hasnain et al. 2012). In countries with high temperature, *Agaricus* spores show similar behaviours during the night (Khan et al. 2016). *Coprinus* spores values decreased during the central hours of the day possibly because of its moisture requirements (Aira et al. 2003), maintained stable values during the rest of the day, but increased past midnight, just like other surveys registered (Levetin and Horner 2002). For *Periconia*, the intradiurnal obtained values exhibit an increase that started at midday and were increasing until the first hours of the morning when it decreased, obtaining the same behaviour picture that was registered in Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2009b).

Regarding the meteorological factors and their relationship with the spore types, we found that temperature was the predominant factor for the abundance of fungal spores in the atmosphere. Only for *Coprinus*, *Leptosphaeria* and *Periconia* negative correlations were noted due to their needs of humidity and low temperature values (Aira et al. 2003; Pérez Gorjón et al. 2003; Magyar et al. 2006). *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium* and *Cladosporium* spores had a strong positive correlation with this parameter, because *Alternaria* optimal temperature for growing and release is between 22 and 28 °C (Fernández et al. 1998), 13 and 21 °C for *Cladosporium* (Sabariego et al. 2000) and *Aspergillus/Penicillium* had a sporadic behaviour as noted by Oliveira et al. (2009a, b). *Periconia* showed a negative Spearman rank with minimum temperature. This is rare, being a wintry spore type, but in other research carried out in Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2012) similar results were explained by the fact that *Periconia* elevates its spore concentration in parallel with the beginning of autumn, when temperature goes down, and this may influence the negative correlations obtained. Rainfall and relative humidity were considered together for the spore presence in the atmosphere as both factors affect the aeromycota. *Agaricus* and *Coprinus*, like the majority of basidiomycota, need high humidity levels and a great quantity of water in the substrate for the development of their carpophores, as Aira and collaborators pointed out (2003). While they obtained a positive correlation with rainfall and humidity, in our survey *Coprinus* only had a positive correlation with relative humidity which seems to be the truly

meteorological factor which affects the growing, sporulation and distribution of *Coprinus* spores in the atmosphere (Almaguer et al. 2014). *Leptosphaeria* spores obtained a strong positive correlation with relative humidity and rainfall, which increased their presence in the atmosphere after rain (Grinn Gofroń et al. 2018), when the relative humidity values were high (Magyar et al. 2006). On the other hand, the day that *Leptosphaeria* reached its peak value was the only day when rainfall occurred in the whole month.

Wind speed was only positively correlated with *Aspergillus/Penicillium* spores. This could be explained by the size of the spores. While other spores are frequently bigger and heavier for aerial transport, *Aspergillus* and *Penicillium* have very small spores (Almaguer et al. 2015) which can be easily transported through the air. Wind directions were separated into two sectors that matched with the dry spores and wet spores. *Alternaria*, *Cladosporium* and *Periconia* were positively correlated with winds from north-easterly and south-easterly directions, while *Agaricus*, *Coprinus* and *Leptosphaeria* had positive correlations with the south-westerly winds. In the case of *Alternaria* and *Cladosporium*, the wind direction was probably related to the great extension of crop fields located in Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2016) and the abundance of host plants for *Alternaria* in cities like Toledo (Sabariego et al. 2012). In the case of *Cladosporium*, spores would be distributed in those quadrants as Almeida et al. (2018) already pointed out. For wet spores, the wind from the south-west came from different oak and chestnut forests at “Sierra de Francia y Béjar” Biosphere Reserve, located approximately 70 km away, in which environments are very rich in basidiomycetes. *Aspergillus/Penicillium* spores also showed positive correlation with north-westerly wind. Other surveys registered a high number of these fungal spores at cities located in the north-western part of Spain (Aira et al. 2003). The other wind parameter, calm frequency, influenced positively the presence of wet spores in the atmosphere, as registered by other researches (Díez Herrero et al. 2006). At last, sunshine is a meteorological factor that registered a positive correlation with *Alternaria* and *Aspergillus/Penicillium* spores. The behaviour of these spores confirms the positive correlation with sunshine. The positive correlation of *Alternaria* spores with sunshine also was obtained in nearby cities (Sánchez Reyes et al. 2009b; Sánchez Reyes et al. 2016). In the case of *Coprinus*, the

positive correlation with sunshine could be explained by the values of the sunshine hours percentage instead of the sunshine hours. During October 2014, when the maximum spore concentration of *Coprinus* was registered, the percentage of sunshine was between 80 and 90% during the greater part of the month and this could influence a positive correlation with *Coprinus*.

5 Conclusion

The total content of fungal spores was influenced by a high number of *Cladosporium* spores, and it was registered during summer and early autumn. During the winter months, due to low temperature, the lowest values for all the fungal spores were registered, including *Periconia*, which, despite being a wintry spore type, showed a decrease.

There is a clear separation between the spore types, being divided into two groups: dry air spores and wet air spores. To the first category, *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium*, *Cladosporium* and *Periconia*, which showed their maximum values at midday or at late sunset/night, are included. On the other hand, the wet air spores which include *Agaricus*, *Coprinus* and *Leptosphaeria* had a night distribution pattern and high humidity or rainfall conditions, because their maximum values were recorded during autumn when the conditions were the best for their release.

Meteorological factors had an influence on the distribution of the spores. According to the results, dry spore types showed positive correlation with temperature and the sun hours. However, wet spore types are positively correlated with rainfall and high relative humidity levels. Only the *Aspergillus/Penicillium* spores obtained positive correlation coefficients with wind speed due to their small size. On the other hand, wind from the NE and SE directions had a positive influence on *Alternaria* and *Cladosporium* spores due to the extensions of cereal crops and also winds from SW had an influence on ascospores and basidiospores due to the vicinity of forests being on a wind way.

References

- Abu Dieyeh, M. H., Barham, R., Abu Elteen, K., Al Rashidi, R., & Shaheen, I. (2010). Seasonal variation of fungal spore populations in the atmosphere of Zarqa area, Jordan. *Aerobiologia*, 26, 263–276.

- Adams, K. F. (1964). Year to year variation in the fungus spore content of the atmosphere. *Acta Allergologica*, *19*, 11–50.
- Adhikari, A., Reponen, T., Grinshpun, S. A., Martuzevicius, D., & LeMasters, G. (2006). Correlation of ambient inhalable bioaerosols with particulate matter and ozone: A two-year study. *Environmental Pollution*, *140*, 16–28.
- Aira, M. J., La-Serna, I., & Dopazo, A. (2003). Identification of fungal spores in the atmosphere of Santiago de Compostela (NW Spain) in the winter period. *Polen*, *12*, 65–76.
- Aira, M. J., Rodríguez Rajo, F. J., Fernández González, M., Seijo, C., Elvira Rendueles, B., Abreu, I., et al. (2013). Spatial and temporal distribution of *Alternaria* spores in the Iberian Peninsula atmosphere, and meteorological relationships: 1993–2009. *International Journal of Biometeorology*, *57*, 265–274.
- Aira, M. J., Rodríguez Rajo, F. J., Fernández González, M., Seijo, C., Elvira Rendueles, B., Gutiérrez Bustillo, M., et al. (2012). *Cladosporium* airborne spore incidence in the environmental quality of the Iberian Peninsula. *Grana*, *51*, 293–304.
- Almaguer, M., Aira, M. J., Rodríguez Rajo, F. J., Fernández González, M., & Rojas Flores, T. I. (2015). Thirty-four identifiable airborne fungal spores in Havana, Cuba. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *2*, 215–220.
- Almaguer Chávez, M., Aira, M. J., Tojas, T. I., Fernández González, M., & Rodríguez Rajo, F. J. (2018). New findings of airborne fungal spores in the atmosphere of Havana, Cuba, using aerobiological non-viable methodology. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *25*, 349–359.
- Almaguer, M., Rojas Flores, T. I., Rodríguez Rajo, F. J., & Aira, M. J. (2014). Airborne basidiospores of *Coprinus* and *Ganoderma* in a Caribbean region. *Aerobiologia*, *30*, 197–204.
- Almeida, E., Caeiro, E., Todo Bom, A., Ferro, R., Dionisio, A., Duarte, A., et al. (2018). The influence of meteorological parameters on *Alternaria* and *Cladosporium* fungal spore concentrations in Beja (Southern Portugal): Preliminary results. *Aerobiologia*, *34*, 219–226.
- Bardei, F., Bouziane, H., Trigo, M. M., Ajouray, N., El Haskouri, F., & Kadiri, M. (2017). Atmospheric concentrations and intradiurnal pattern of *Alternaria* and *Cladosporium* conidia in Tétouan (NW of Morocco). *Aerobiologia*, *33*, 221–228.
- Bednarz, A., & Pawłowska, S. (2016). A fungal spore calendar for the atmosphere of Szczecin, Poland. *Acta Agrobotanica*, *69*, 1–9.
- Bush, R. K., & Portnoy, J. M. (2001). The role and abatement of fungal allergens in allergic diseases. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *107*, 430–440.
- Capel Molina, J. (2000). *El clima de la Península Ibérica*. Ed. Ariel geográfica.
- Chen, B., Chao, H. J., Wu, C., Kim, H., Honda, Y., & Guo, Y. L. (2014). High ambient *Cladosporium* spores were associated with reduced lung function in schoolchildren in a longitudinally study. *Science of the Total Environment*, *481*, 370–376.
- Corden, J. M., Millington, W. M., & Mullins, J. (2003). Long-term trends and regional variation in the aeroallergen *Alternaria* in Cardiff and Derby UK- are differences in climate and cereal production having an effect? *Aerobiologia*, *19*, 191–199.
- Damialis, A., & Gioulekas, D. (2006). Airborne allergenic fungal spores and meteorological factors in Greece: Forecasting possibilities. *Grana*, *45*, 122–129.
- Damialis, A., Kaimakamis, E., Konoglou, M., Akritidis, I., Traidl Hoffmann, C., & Gioulekas, D. (2017). Estimating the abundance of airborne pollen and fungal spores at variable elevations using an aircraft: How high can they fly? *Scientific Reports*, *7*, 44535.
- Das, S., & Gupta Bhattacharya, S. (2008). Enumerating outdoor aeromycota in suburban west Bengal, India, with reference to respiratory allergy and meteorological factors. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *15*, 105–112.
- Díez Herrero, A., Sabariego Ruiz, S., Gutiérrez Bustillo, M., & Cervigón Morales, P. (2006). Study of airborne fungal spores in Madrid, Spain. *Aerobiologia*, *22*, 135–142.
- Domínguez Santana, M. D., & La Serna, I. (1998). Variación anual y diaria del contenido en esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Stemphylium* en la atmósfera de La Laguna (Tenerife: Islas Canarias). *Acta Botanica Macaronésica*, *23*, 105–117.
- El Haskouri, F., Bouziane, H., Trigo, M. M., Kadiri, M., & Kazzaz, M. (2016). Airborne ascospores in Tétouan (NW Morocco) and meteorological parameters. *Aerobiologia*, *32*, 669–681.
- Erkara, I. P., Asan, A., Yilmaz, V., Pehlivan, S., & Okten, S. S. (2008). Airborne *Alternaria* and *Cladosporium* species and relationship with meteorological conditions in Eskisehir City, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, *144*, 31–41.
- Fernández, D., Valencia, R. M., Molnár, T., Vega, A., & Sagüés, E. (1998). Daily and seasonal variations of *Alternaria* and *Cladosporium* airborne spores in León (North-West, Spain). *Aerobiologia*, *14*, 215–220.
- Frenguelli, G. (1998). The contribution of aerobiology to agriculture. *Aerobiologia*, *14*, 95–100.
- Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., et al. (2017). Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, *33*, 293–295.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., & Domínguez, E. (2007). *Spanish aerobiology network (REA: Management and quality manual*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba 2007. http://www.uco.es/rea/infor_rea/manual_eng.pdf.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., et al. (2014). Pollen monitoring: Minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*, *30*, 385–395.
- Galán, C., Tormo, R., Cuevas, J., Infante, F., & Domínguez, E. (1991). Theoretical daily variations patterns of airborne pollen in south-west of Spain. *Grana*, *30*, 201–209.
- Grant Smith, E. (2000). *Sampling and identifying allergenic pollens and molds*. San Antonio, TX: Blewstone Press.
- Grinn Gofroñ, A. (2011). Airborne *Aspergillus* and *Penicillium* in the atmosphere of Szczecin (Poland) (2004–2009). *Aerobiologia*, *27*, 67–76.
- Grinn Gofroñ, A., & Bosiacka, B. (2015). Effects of meteorological factor on the composition of selected fungal spores in the air. *Aerobiologia*, *31*, 63–72.

- Grinn Gofroń, A., Bosiacka, B., Bednarz, A., & Wolski, T. (2018). A comparative study of hourly and daily relationships between selected meteorological parameters and airborne fungal spore composition. *Aerobiologia*, *34*, 45–54.
- Grinn Gofroń, A., Sadyś, M., Kaczmarek, J., Bednarz, A., Pawlowska, S., & Jedryczka, M. (2016a). Back-trajectory modelling and DNA-based species-specific detection methods allow tracking of fungal spore transport in air masses. *Science of the Total Environment*, *571*, 658–669.
- Grinn Gofroń, A., Strzelczak, A., Stępańska, D., & Myszkowska, D. (2016b). A 10-year study of *Alternaria* and *Cladosporium* in two Polish cities (Szczecin and Cracow) and relationship with the meteorological parameters. *Aerobiologia*, *32*, 83–94.
- Haas, D., Habib, J., Luxner, J., Galler, H., Zarfel, G., Schlacher, R., et al. (2014). Comparison background levels of culturable fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in southeastern Austria. *Atmospheric Environment*, *98*, 640–647.
- Hasnain, S. M., Akhter, T., & Waqar, M. A. (2012). Airborne and allergenic fungal spores of the Karachi environment and their correlation with meteorological factors. *Journal of Environmental Monitoring*, *14*, 1006–1013.
- Hasnain, S. M., Fatima, K., Al Frayh, A., & Al Sedairy, S. T. (2005). Prevalence of airborne basidiospores in three coastal cities of Saudi Arabia. *Aerobiologia*, *21*, 139–145.
- Heinzerling, L. M., Burbach, G. J., Edenharter, G., Bachert, C., Bindslev Jensen, C., Bonini, S., et al. (2009). GA²LEN skin test study I: GA²LEN harmonization of skin prick testing: novel sensitization patterns for inhalant allergens in Europe. *Allergy*, *64*, 1498–1506.
- Hernández Trejo, F., Muñoz Rodríguez, A., Tormo Molina, R., & Silva Palacios, I. (2012). Airborne ascospores in Mérida (SW Spain) and the effect of rain and other meteorological parameters on their concentration. *Aerobiologia*, *28*, 13–26.
- Hirst, J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, *39*, 257–265.
- Ho, H., Rao, C. Y., Hsu, H., Chiu, Y., Liu, C., & Chao, H. J. (2005). Characteristics and determinant of ambient fungal spores in Hualien, Taiwan. *Atmospheric Environment*, *39*, 5839–5850.
- Huang, Y. J., Fitt, B. D. L., Jedryczka, M., Dakowska, S., West, J. S., Gladders, P., et al. (2005). Patterns of ascospore release in relation to phoma stem canker epidemiology in England (*Leptosphaeria maculans*) and Poland (*Leptosphaeria biglobosa*). *European Journal of Plant Pathology*, *111*, 263–277.
- Ianovici, N. (2016). Atmospheric concentrations of selected allergenic fungal spores in relation to some meteorological factors, in Timișoara (Romania). *Aerobiologia*, *32*, 139–156.
- Irga, P. J., & Torpy, F. R. (2016). A survey of the aeromycota of Sydney and its correspondence with environmental conditions: Grass as a component of urban forestry could be a major determinant. *Aerobiologia*, *32*, 171–185.
- Jedryczka, M., Kaczmarek, J., Dawidziuk, A., & Brachaczek, A. (2008). System for forecasting disease epidemics—Aerobiological methods in Polish agriculture. *Aspects of Applied Biology*, *89*, 1–6.
- Kaczmarek, J., Kedziora, A., Brachaczek, A., Latunde Dada, A. O., Dakowska, S., Karg, G., et al. (2016). Effect of climate change on sporulation of the teleomorphs of *Leptosphaeria* species causing stem canker of brassicas. *Aerobiologia*, *32*, 39–51.
- Kasprzyk, I., & Worek, M. (2006). Airborne fungal spores in urban and rural environments in Poland. *Aerobiologia*, *22*, 169–176.
- Katotomichelakis, M., Nikolaidis, C., Makris, M., Proimos, E., Aggelides, X., Constantinidis, T. C., et al. (2016). *Alternaria* and *Cladosporium* calendar of western Thrace: Relationship with allergic rhinitis symptoms. *Laryngoscope*, *126*, E51–E56.
- Khan, M., Perveen, A., & Qaiser, M. (2016). Seasonal and diurnal variation of atmospheric fungal spore concentrations in Hyderabad, Tandojam-Sindh and the effects of climatic conditions. *Pakistan Journal of Botany*, *48*, 1657–1663.
- Levetin, E., & Horner, W. E. (2002). Fungal aerobiology: Exposure and measurements. *Chemical Immunology*, *81*, 10–27.
- Licorish, K., Noverly, H. S., Kozak, P., Fairshter, R. D., & Wilson, A. F. (1985). Role of *Alternaria* and *Penicillium* spores in the pathogenesis of asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *76*, 819–825.
- Magyar, D., Barasits, T., Fischl, G., & Fernando, W. G. D. (2006). First report of the natural occurrence of the teleomorph of *Leptosphaeria maculans* on oilseed rape and airborne dispersal of ascospores in Hungary. *Journal of Phytopathology*, *154*, 428–431.
- Magyar, D., Kállai, Z., Sipiecki, M., Dobolyi, C., Sebök, F., Beregszászi, T., et al. (2018). Survey of viable airborne fungi in wine cellars of Tokaj, Hungary. *Aerobiologia*, *34*, 171–185.
- Mallo, A. C., Nitiu, D. S., & Gardella Sambeth, M. C. (2011). Airborne fungal spore content in the atmosphere of the city of La Plata, Argentina. *Aerobiologia*, *27*, 77–84.
- Martínez Bracero, M., Alcázar, P., Velasco Jiménez, M. J., & Galán, C. (2018). Fungal spores affecting vineyards in Montilla-Moriles southern Spain. *European Journal of Plant Pathology*, *153*, 1–13.
- Maya Manzano, J. M., Muñoz Triviño, M., Fernández Rodríguez, S., Silva Palacios, I., González Garijo, A., & Tormo Molina, R. (2016). Airborne *Alternaria* conidia in Mediterranean rural environments in SW of Iberian Peninsula and weather parameters that influence their seasonality in relation to climate change. *Aerobiologia*, *32*, 95–108.
- Mitakakis, T. Z., & Guest, D. I. (2001). A fungal spore calendar for the atmosphere of Melbourne, Australia, for the year 1993. *Aerobiologia*, *17*, 171–176.
- Morales, J., González Minero, F. J., Carrasco, M., Ogalla, V. M., & Candau, P. (2006). Airborne basidiospores in the atmosphere of Seville (South Spain). *Aerobiologia*, *22*, 127–134.
- Nilsson, S., & Persson, S. (1981). Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden) 1973–1980. *Grana*, *20*, 179–182.
- O'Connor, D. J., Sadyś, M., Skjøth, C. A., Healy, D. A., Kennedy, R., & Sodeau, J. R. (2014). Atmospheric concentrations of *Alternaria*, *Cladosporium*, *Ganoderma* and

- Didymella* spores monitored in Cork (Ireland) and Worcester (England) during the summer of 2010. *Aerobiologia*, 30, 397–411.
- O’Gorman, C. M., & Fuller, H. T. (2008). Prevalence of culturable airborne spores of selected allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. *Atmospheric Environment*, 42, 4355–4368.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L., & Abreu, I. (2009a). The effects of meteorological factors on airborne fungal spore concentration in two areas differing in urbanisation level. *International Journal of Biometeorology*, 53, 61–73.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L., & Abreu, I. (2009b). Seasonal and intradiurnal variation of allergenic fungal spores in urban and rural areas of the North of Portugal. *Aerobiologia*, 25, 85–98.
- Pérez Gorjón, S., Rodríguez de la Cruz, D., González Suarez, R., & Sánchez, J. (2003). Variación anual de esporas en la atmósfera de Salamanca durante los años 1995 y 2000. *Polen*, 13, 289–297.
- Pyrrí, I., & Kapsanaki Gotsi, E. (2007). A comparative study on the airborne fungi in Athens, Greece, by viable and non-viable samplings methods. *Aerobiologia*, 23, 3–15.
- Pyrrí, I., & Kapsanaki Gotsi, E. (2015). Evaluation of the fungal aerosol in Athens, Greece, based on spore analysis. *Aerobiologia*, 31, 179–190.
- Pyrrí, I., & Kapsanaki Gotsi, E. (2017). Functional relations of airborne fungi to meteorological and pollution factor in a Mediterranean urban environment. *Fungal Ecology*, 30, 48–54.
- Rivas Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoserias y geopemseries de vegetación de España [Memoria del Mapa de Vegetación Potencial de España. Parte I]. *Itinera Geobotánica*, 17(1), 1–436.
- Rodríguez, D., Dávila, I., Sánchez, E., Barber, D., Lorente, F., & Sánchez, J. (2011). Relationship between airborne pollen counts and the results obtained using 2 diagnostic methods: Allergen-specific immunoglobulin E concentrations and skin prick tests. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 21, 222–228.
- Rosas, I., Calderón, C., Ulloa, M., & Lacey, J. (1993). Abundance of Airborne *Penicillium* CFU in relation to urbanization in Mexico City. *Applied and Environmental Microbiology*, 59, 2648–2652.
- Sabariego, S., Bouso, V., & Pérez Badia, R. (2012). Comparative study of airborne *Alternaria* conidia levels in two cities in Castilla–La Mancha (central Spain), and correlations with weather-related variables. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2, 227–232.
- Sabariego, S., Díez, A., & Gutiérrez, M. (2007). Monitoring of airborne fungi in Madrid (Spain). *Acta Botanica Croatica*, 66, 117–126.
- Sabariego, S., Guardia, C. D., & Alba, F. (2000). The effect of meteorological factor on the daily variation of airborne fungal spores in Granada (Southern Spain). *International Journal of Biometeorology*, 44, 1–5.
- Sadyś, M. (2017). Effect of wind speed and direction on monthly fluctuations of *Cladosporium* conidia concentration in the air. *Aerobiologia*, 33, 445–456.
- Sadyś, M., Adams Groom, B., Herbert, R. J., & Kennedy, R. (2016). Comparisons of fungal spore distributions using air sampling at Worcester, England (2006–2010). *Aerobiologia*, 32, 619–634.
- Sadyś, M., Kaczmarek, J., Grinn Gofroń, A., Rodinkova, V., Prikhodko, A., Bilous, E., et al. (2018). Dew point temperature affects ascospore release of allergenic genus *Leptosphaeria*. *International Journal of Biometeorology*, 62, 979–990.
- Sáenz, C., & Gutiérrez-Bustillo, M. (2003). *Esporas atmosféricas en la Comunidad de Madrid*. Documento Técnico de Salud Pública n° 83, Madrid.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., & Sánchez, J. (2007). Contenido atmosférico de esporas de *Ganoderma* P. Karst. en la atmósfera de Valladolid. *Polen*, 17, 39–49.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., & Sánchez, J. (2012). Influencia de la temperatura sobre las concentraciones de esporas de *Periconia* sl en Valladolid (2005–2007). *Polen*, 22, 9–13.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., & Sánchez Sánchez, J. (2016). First fungal spore calendar of the middle-west of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 32, 529–539.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, M. E., & Sánchez, J. (2009a). First results of *Platanus* pollen airborne content in the middle-west of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 25, 209–215.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, M. E., & Sánchez, J. (2009b). Meteorological and agricultural effects on airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores and clinical aspects in Valladolid (Spain). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16, 53–61.
- Sindt, C., Besancenot, J. P., & Thibaudon, M. (2016). Airborne *Cladosporium* fungal spores and climate change in France. *Aerobiologia*, 32, 53–68.
- Skjøth, C. A., Damialis, A., Belmonte, J., De Linares, C., Fernández Rodríguez, S., Grinn Gofroń, A., et al. (2016). *Alternaria* spores in the air across Europe: Abundance, seasonality and relationships with climate, meteorology and local environment. *Aerobiologia*, 32, 3–22.
- Sousa, L., Câmara Camacho, I., Grinn Gofroń, A., & Camacho, R. (2016). Monitoring of anamorphic fungal spores in Madeira region (Portugal), 2003–2008. *Aerobiologia*, 32, 303–315.
- Spieksma, F. (1991). Regional European Pollen Calendars. In G. D’Amato, F. Th. M. Spieksma, & S. Bonini (Eds.), *Allergenic pollen and pollinosis in Europe* (pp. 49–65). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Tham, R., Vicendese, D., Dharmage, S. C., Hindman, R. J., Newbiggin, E., Lewis, E., et al. (2017). Associations between outdoor fungal spores and childhood and adolescent asthma hospitalizations. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 139, 1140–1147.
- Vélez Pereira, A. M., De Linares, C., Delgado, R., & Belmonte, J. (2016). Temporal trends of the airborne fungal spores in Catalonia (NE Spain), 1995–2013. *Aerobiologia*, 32, 23–37.

**ESPORAS AEROVAGANTES DE LA
ATMÓSFERA DE SALAMANCA
(CONTINUACIÓN)**

*Estudio del espectro
fúngico durante los
años 2014-2016*

Con motivo de la elección del criterio del 90% de abundancia de las esporas aerovagantes presentes en la atmósfera de Salamanca para el artículo I mencionado anteriormente, quedaron fuera del estudio de los principales análisis tres esporas que también superaron el umbral del 1% de representación media total. A continuación se analizan bajo los mismos criterios que los incluidos en el **Artículo I (Analysis of the airborne fungal spores present in the atmosphere of Salamanca (MW Spain): a preliminary survey)**, junto con otras esporas con un porcentaje menor de representación con el fin de completar el estudio del aerosol fúngico.

PORCENTAJE DE REPRESENTACION MEDIO SUPERIOR AL 1%

En este apartado se incluyen: *Epicoccum*, *Ganoderma* y *Pleospora*.

Epicoccum

Durante el primer periodo de estudio *Epicoccum* tuvo un índice esporal anual de 2842 esporas/m³, siendo muy similar al obtenido durante el periodo 2015-2016 (2518 esporas/m³), como se aprecia en la tabla 3.4. En ambas anualidades las concentraciones más elevadas se registraron durante octubre y noviembre, (fig. 3.7), mientras que los meses donde se registraron los mínimos fueron febrero y mayo de 2014 (7 y 34 esporas/m³, respectivamente) y enero de 2016 (40 esporas/m³).

Tabla 3. 4. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Epicoccum* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2014/2015 | 7 | 99 | 47 | 34 | 57 | 170 | 157 | 240 | 953 | 655 | 262 | 120 | 2842 |
| 2015/2016 | 60 | 62 | 58 | 116 | 207 | 219 | 180 | 193 | 616 | 651 | 142 | 40 | 2518 |

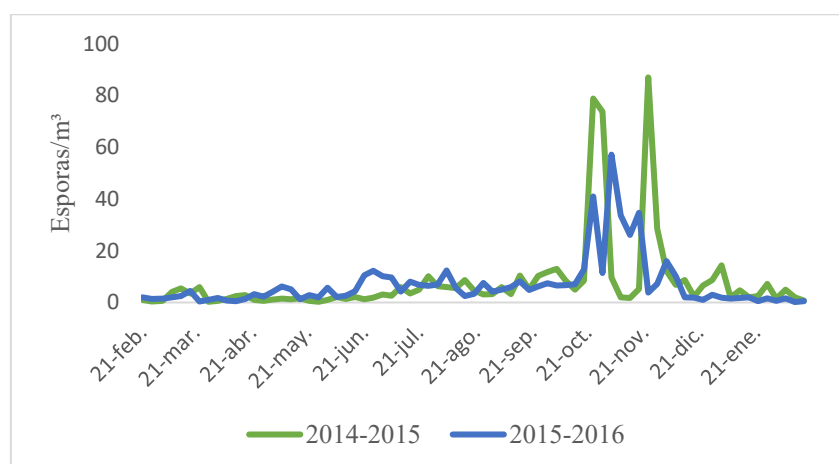


Figura 3. 7. Comportamiento estacional de esporas de *Epicoccum* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal de esporulación tuvo un inicio en fechas similares durante el mes de abril (tabla 3.5), alargándose hasta enero en el primer periodo de estudio, mientras que durante 2015-2016, el PPE finalizó el 6 de diciembre. El índice esporal estacional de 2014-2015 fue de 2557 esporas/m³, mientras que en 2015-2016 fue de 2266 esporas/m³. La duración en días fue superior durante 2014-2015, debido a ese mes de diferencia en la finalización, mientras que los días pico estuvieron separados igualmente por un mes, con 203 esporas/m³, recogidas el 21 de noviembre de 2014 y 116 esporas/m³, el 20 de octubre de 2015.

Tabla 3. 5. Análisis del periodo principal de esporulación de *Epicoccum* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|-------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 2557 | 17-abr | 2-ene | 261 | 21-nov | 203 |
| 2015-2016 | 2266 | 27-abr | 6-dic | 223 | 20-oct | 116 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

El patrón intradiario mostró las máximas concentraciones recogidas de 11 a 14 horas (fig. 3.8), disminuyendo desde entonces hasta los valores mínimos a las 3h. Además, se aprecia un incremento entre las 7-8h, de forma similar a las 17-18h, descendiendo ligeramente antes de alcanzar los valores máximos.

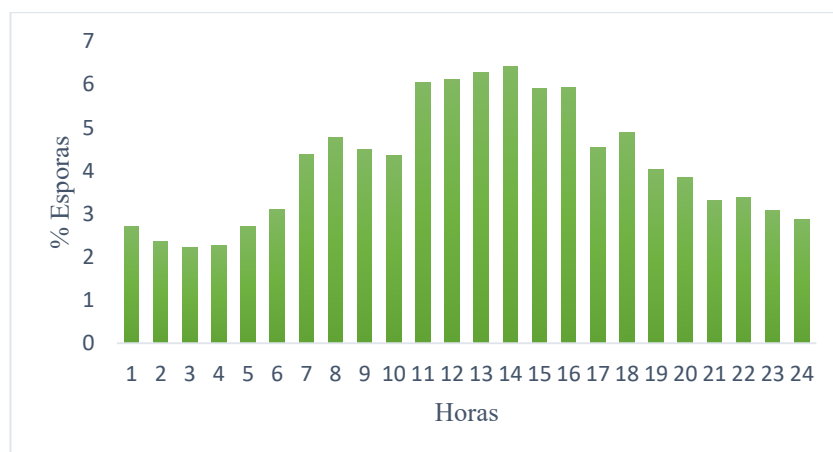


Figura 3. 8. Variación intradiaria de *Epicoccum* durante el periodo de estudio.

La correlación entre *Epicoccum* y los parámetros meteorológicos (tabla 3.6) obtuvo coeficientes positivos aunque de bajo valor con la temperatura y la insolación. Las precipitaciones obtuvieron coeficientes negativos al igual que la velocidad del viento. Respecto a la dirección de los vientos, aquellos procedentes del NE-SE obtuvieron valores positivos mientras que los vientos propios del tercer cuadrante registraron una correlación de signo negativo.

Tabla 3. 6. Coeficientes de correlación de Spearman para *Epicoccum* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.216** |
| Tmin | 0.090* |
| Tmed | 0.169** |
| Prec | -0.229** |
| HR | -0.083 |
| Vel viento | -0.383** |
| Viento NE | 0.136** |
| Viento SE | 0.239** |
| Viento SO | -0.193** |
| Viento NO | -0.035 |
| Frec calmas | 0.386** |
| Insolación | 0.191** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (%). **Niveles de significación:** *95%; **99%.

Ganoderma

El periodo 2014-2015 resultó en un índice esporal anual de 3178 esporas/m³ para *Ganoderma*, mientras que durante 2015-2016 este valor fue superior (4027 esporas/m³) (tabla 3.7).

Tabla 3. 7. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Ganoderma* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|----|---|------|
| 2014/2015 | - | 11 | 81 | 113 | 107 | 257 | 682 | 1081 | 748 | 80 | 16 | 1 | 3178 |
| 2015/2016 | 1 | 6 | 52 | 113 | 317 | 642 | 1195 | 1124 | 350 | 215 | 8 | 1 | 4027 |

Aunque se encontraron esporas a lo largo de todo el año (excepto durante los meses más invernales como febrero o enero, con apenas una espora en cada uno de los años), las concentraciones máximas se registraron desde julio hasta octubre (figura 3.9), siendo recogidos sus valores máximos en septiembre durante 2014-2015 (1081 esporas/m³) y en agosto durante 2015-2016 (1195 esporas/m³).

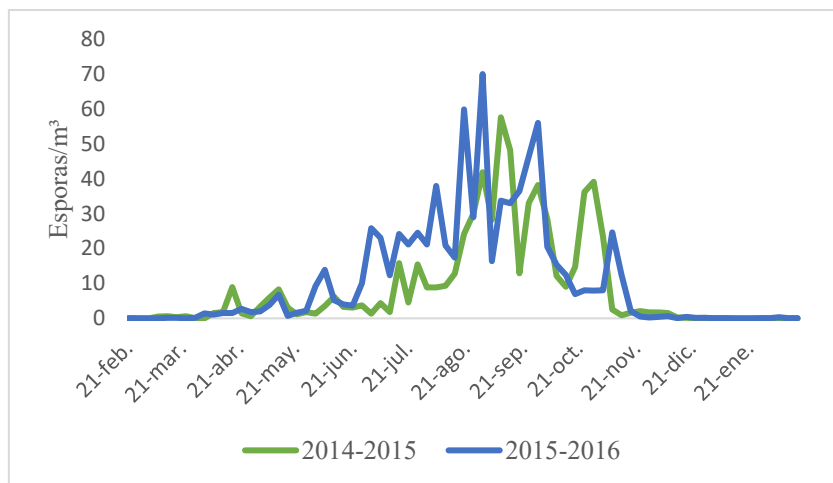


Figura 3. 9. Comportamiento estacional de esporas de *Ganoderma* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPE de *Ganoderma* arrojó unas fechas ligeramente diferentes en cuanto a su inicio (11 de mayo en 2014 y 2 de junio de 2015), siendo su final más parejo en cuanto a la proximidad de las fechas (30 de octubre de 2014 y 4 de noviembre de 2015) (tabla 3.8), con una duración similar de 172 días durante 2014-2015, frente a 155 días en 2015-2016. El índice esporal estacional fue de 2860 esporas/m³, durante 2014-2015, mientras que durante el periodo 2015-2016 fue de 3624 esporas/m³. Los picos máximos fueron similares, con 123 esporas/m³, en 2014 y 144 esporas/m³, en 2015, siendo localizados el 9 de septiembre y 19 de agosto, respectivamente.

Tabla 3. 8. Análisis del periodo principal de esporulación de *Ganoderma* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-------------------|---------------|------------|------------------------|-----------------|------------------|
| 2014-2015 | 2860 | 11-may | 30-oct | 172 | 9-sep | 123 |
| 2015-2016 | 3624 | 2-jun | 4-nov | 155 | 19-ago | 144 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

El patrón intradiario (fig. 3.10) mostró un claro predominio nocturno incrementándose desde las 22-23 horas alcanzándose los valores máximos a las 06 horas, momento en el que comienza el descenso de sus concentraciones manteniéndose en valores en torno al 2% el resto del día.

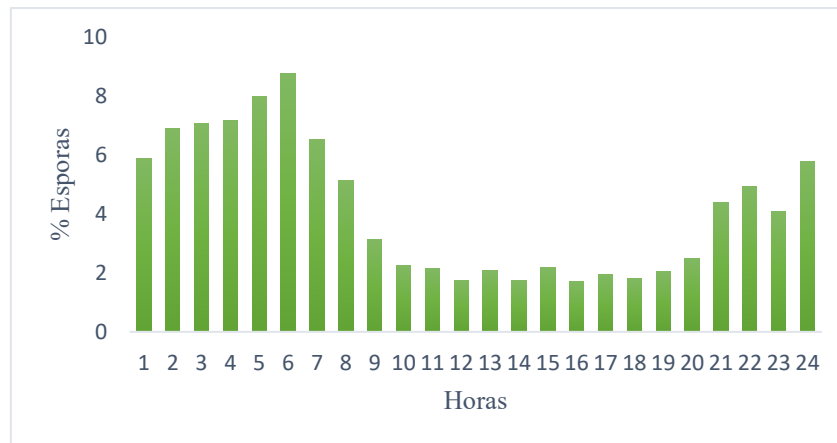


Figura 3. 10. Variación intradiaria de *Ganoderma* durante el periodo de estudio.

Los parámetros meteorológicos que parecen ejercer una mayor influencia positiva sobre sus concentraciones fueron la temperatura y la insolación, estando las precipitaciones y la humedad correlacionadas negativamente (tabla 3.9). Los vientos del SE y NO obtuvieron correlaciones de signo positivo al igual que la frecuencia de calmas, mientras que la velocidad del viento obtuvo una correlación negativa con la concentración de esporas de *Ganoderma*.

Tabla 3. 9. Coeficientes de correlación de Spearman para *Ganoderma* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.498** |
| Tmin | 0.255** |
| Tmed | 0.427** |
| Prec | -0.233** |
| HR | -0.308** |
| Vel viento | -0.409** |
| Viento NE | 0.067 |
| Viento SE | 0.203** |
| Viento SO | -0.088 |
| Viento NO | 0.121* |
| Frec calmas | 0.396** |
| Insolación | 0.284** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (%).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Pleospora

Pleospora mostró un índice esporal anual diferente de un periodo respecto al otro siendo de 4234 esporas/m³, durante 2014-2015 y de 2853 esporas/m³, durante 2015-2016 (tabla 3.10). La distribución fue irregular a lo largo del año con sus concentraciones máximas recogidas en abril de 2014 con 1514 esporas/m³ y en junio de 2015 con 598 esporas/m³ (fig. 3.11). Las concentraciones mínimas fueron recogidas durante febrero de 2014 (56 esporas/m³) y diciembre de 2016 (68 esporas/m³), con valores mínimos también durante febrero de 2015 con 76 esporas/m³.

Tabla 3. 10. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Pleospora* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2014/2015 | 56 | 549 | 1514 | 422 | 241 | 224 | 129 | 423 | 190 | 183 | 109 | 141 | 4234 |
| 2015/2016 | 76 | 202 | 436 | 204 | 598 | 345 | 182 | 132 | 139 | 86 | 68 | 290 | 2853 |

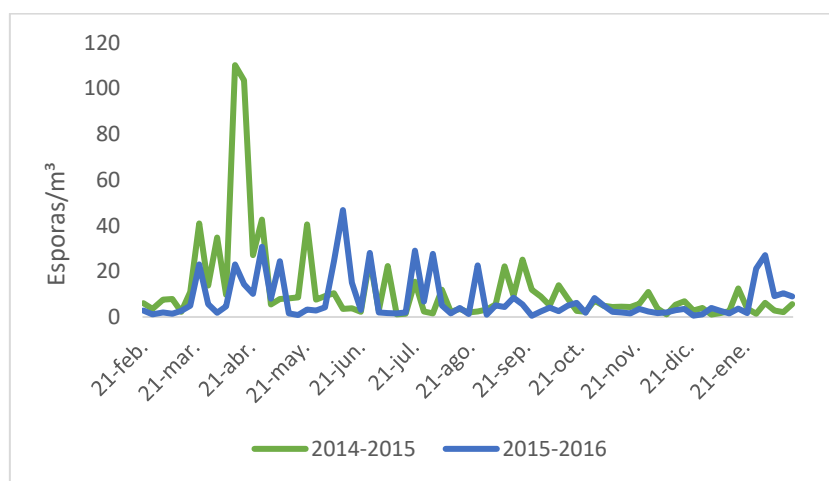


Figura 3. 11. Comportamiento estacional de esporas de *Pleospora* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

A consecuencia de la distribución irregular, el PPE de *Pleospora* obtuvo una larga duración (282 días durante 2014-2015 y 318 en 2015-2016) presentando un inicio en fechas similares (19 de marzo de 2014 y 21 de marzo en 2015), estando el final aplazado hasta febrero durante el último periodo de estudio, mientras que durante 2014-2015 el PPE finalizó el 26 de diciembre (tabla 3.11). El índice esporal estacional fue de 3810 esporas/m³, durante el periodo 2014-2015, mientras que en 2015-2016 fue de 2567 esporas/m³. Los días de concentraciones máximas se localizaron el 15 de abril de 2014 y 21 de junio de 2015, con concentraciones diferentes de 389 esporas/m³, en el primer caso y 127 esporas/m³, en el segundo.

Tabla 3. 11. Análisis del periodo principal de esporulación de *Pleospora* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 3810 | 19-mar | 26-dic | 282 | 15-abr | 389 |
| 2015-2016 | 2567 | 21-mar | 2-feb | 318 | 21-jun | 127 |

PPE: Periodo Principal de Esporulaci3n.

*Concentraciones en esporas/m³

El patr3n intradiario mostr3 una distribuci3n de aumentos y descensos (fig. 3.12). Se aprecian dos picos de concentraci3n a las 03 horas disminuyendo hasta las 8h momento en el que registra su m3nimo, volviendo a incrementarse a las 9-10 horas, cuando alcanza su m3ximo cerca del 6%, disminuyendo nuevamente hasta las 13h y manteni3ndose la segunda mitad del d3a en valores entre el 4% de m3ximo y 3% de m3nimo.

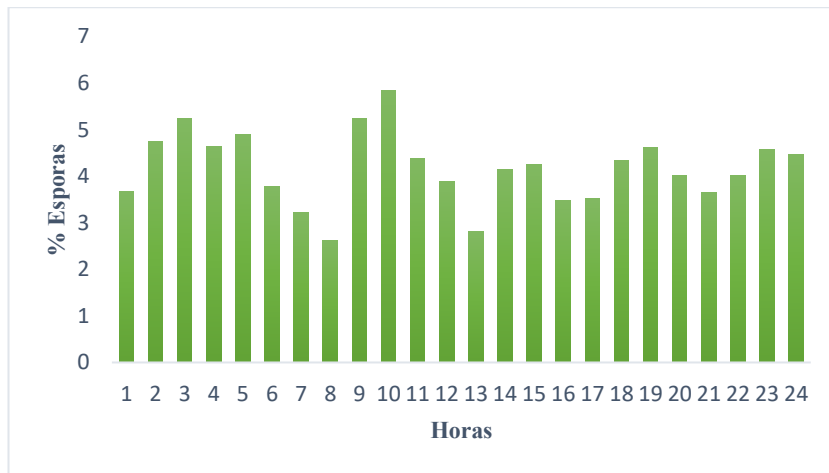


Figura 3. 12. Variaci3n intradiaria de *Pleospora* durante el periodo de estudio.

La correlaci3n con par3metros meteorol3gicos (tabla 3.12) mostr3 una clara influencia de las precipitaciones sobre las concentraciones de *Pleospora*, estando correlacionada tambi3n positivamente con la temperatura m3nima y la humedad relativa. Respecto a los vientos, adem3s de la velocidad, s3lo los procedentes del SO obtuvieron coeficientes correlacionados positivamente con esta espora, siendo negativas en el caso de los vientos de NE y SE. La insolaci3n tambi3n obtuvo coeficientes negativos con la concentraci3n de *Pleospora*.

Tabla 3. 12. Coeficientes de correlación de Spearman para *Pleospora* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.065 |
| Tmin | 0.168** |
| Tmed | 0.027 |
| Prec | 0.420** |
| HR | 0.148** |
| Vel viento | 0.300** |
| Viento NE | -0.216** |
| Viento SE | -0.108** |
| Viento SO | 0.238** |
| Viento NO | 0.060 |
| Frec calmas | -0.265 |
| Insolación | -0.363** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (%).

Niveles de significación: *95%; **99%.

PORCENTAJE DE REPRESENTACION MEDIO ENTRE EL 0,9 Y 0,1%

En este apartado se incluyen: *Agrocybe*, *Ascosporas*, *Bovista*, *Deightoniella*, *Dreschlera*, *Myxomycete*, *Oidium*, *Phaeosphaeria*, *Phylacteria*, *Stemphylium* y *Torula*.

Agrocybe

A lo largo de los dos periodos de estudio los resultados obtenidos fueron ligeramente diferentes con 471 esporas/m³, durante 2014-2015 y 226 esporas/m³, en 2015-2016 (tabla 3.13). Se aprecian dos picos de máxima concentración a lo largo de 2014 recogidos en abril (123 esporas/m³) y octubre (129 esporas/m³) (fig. 3.13), siendo más bajas las concentraciones en 2015 (38 y 42 esporas/m³, respectivamente). Durante 2015 la máxima concentración se registró en junio (48 esporas/m³) mientras que en 2014 se aprecia una bajada de dichas concentraciones. Sin embargo en noviembre se alcanzó la misma concentración (48 esporas/m³), mientras que el año anterior fue mucho más elevado (104 esporas/m³). Los valores mínimos se registraron durante julio y agosto sin detectar ninguna espora en ninguno de los dos periodos de muestreo durante agosto contabilizando una sola en julio de 2015-2016.

Tabla 3. 13. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Agrocybe* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|---|-----|----|----|---|---|----|-----|-----|----|----|-----|
| 2014/2015 | 13 | 7 | 123 | 27 | 15 | - | - | 30 | 129 | 104 | 18 | 5 | 471 |
| 2015/2016 | 1 | 2 | 38 | 22 | 48 | 1 | - | 1 | 42 | 48 | 6 | 13 | 226 |

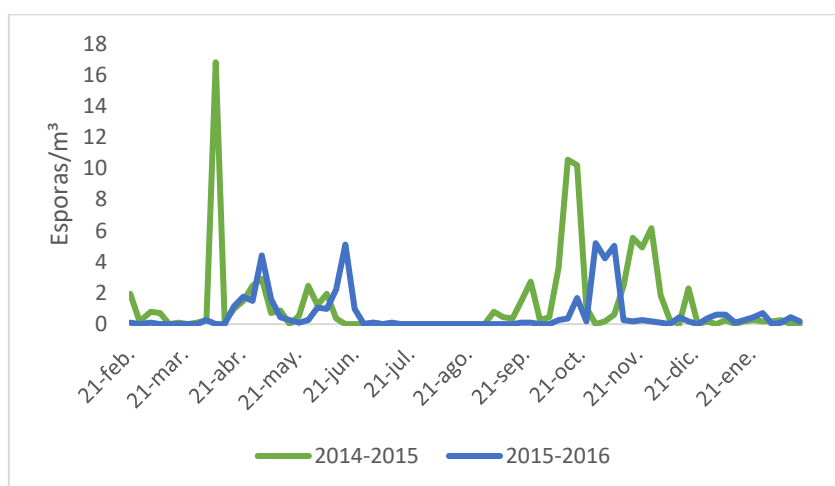


Figura 3. 13. Comportamiento estacional de esporas de *Agrocybe* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPE de *Agrocybe* tuvo un inicio marcado en fechas similares ambas en abril (día 5 durante 2014-2015 y día 19 en 2015-2016) (tabla 3.14), aunque la finalización del periodo se alargó un mes en 2015-2016 hasta el 7 de enero. El índice esporal estacional fue de 424 esporas/m³, en el periodo 2014-2016, mientras que al periodo siguiente fue de 203 esporas/m³. A pesar de que el periodo principal fue más extenso en 2015-2016 (con 264 días frente a los 240 de 2014-2015), los picos de concentraciones se registraron en 2014 con 40 esporas/m³, el 6 de abril, siendo durante 2015 de solamente 13 esporas/m³, el 4 de noviembre.

Tabla 3. 14. Análisis del periodo principal de esporulación de *Agrocybe* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|------------|--------|-------|-----------------|----------|-----------|
| 2014-2015 | 424 | 5-abr | 1-dec | 240 | 6-abr | 40 |
| 2015-2016 | 203 | 19-abr | 7-ene | 264 | 4-nov | 13 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Ascosporas

Durante 2014-2015 el índice esporal anual fue de 990 esporas/m³, mientras que para 2015-2016 fue de 834 esporas/m³ (tabla 3.15).

Tabla 3. 15. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Ascospora* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|----|-----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 2014/2015 | 25 | 59 | 155 | 76 | 28 | 69 | 53 | 120 | 86 | 167 | 73 | 66 | 990 |
| 2015/2016 | 26 | 33 | 109 | 40 | 86 | 55 | 58 | 37 | 87 | 78 | 75 | 101 | 834 |

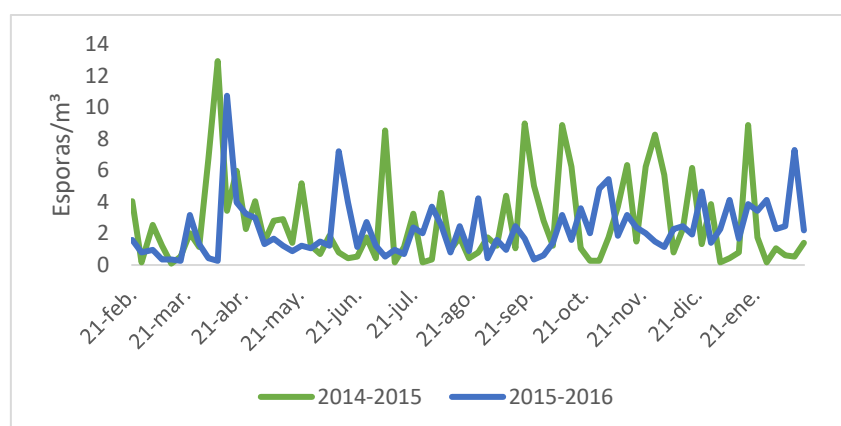


Figura 3. 14. Comportamiento estacional de esporas de *Ascospora* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

La distribución de ascosporas se mostró irregular a lo largo del año, con incrementos y descensos en las concentraciones y estando presente a lo largo de todo el periodo de estudio (fig. 3.14). Las máximas concentraciones se registraron en noviembre de 2014-2015 con 167 esporas/m³, y durante abril de 2015-2016 con 109 esporas/m³, estando los mínimos recogidos durante febrero en ambos periodos (25 esporas/m³, durante 2014-2015 y 26 esporas/m³, en 2015-2016).

El periodo principal de Ascosporas estuvo marcado por un inicio similar durante los dos años siendo registrado el 21 de marzo de 2014-2015 y el 24 de marzo de 2015-2016 (tabla 3.16), aunque la finalización se alargó durante este último año llegando hasta el 7 de febrero. El índice esporal estacional fue de 891 esporas/m³, durante 2014-2015, siendo de 750 esporas/m³, durante el periodo 2015-2016. Aún con esa pequeña diferencia de 20 días en la duración total del PPE (301 días en 2014-2015 y 321 durante 2015-2016), las concentraciones máximas duplicaron en 2014, con 58 esporas/m³, respecto a las 26 esporas/m³ de 2015. En cualquier caso, las fechas en las que se registraron coinciden en la misma semana de abril (día 4 en 2014-2015 y día 9 en 2015-2016).

Tabla 3. 16. Análisis del periodo principal de esporulación de *Ascospora* a lo largo del estudio.

| | Total | Inicio | Fin | Duración | Día | Día |
|------------------|--------------|---------------|------------|-----------------|-------------|--------------|
| | PPE* | | | (días) | pico | pico* |
| 2014-2015 | 891 | 21-mar | 15-ene | 301 | 4-abr | 58 |
| 2015-2016 | 750 | 24-mar | 7-feb | 321 | 9-abr | 26 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Bovista

El índice anual esporal (tabla 3.17) fue bastante similar en 2014-2015 (1653 esporas/m³) con respecto a 2015-2016 (1389 esporas/m³). *Bovista* registró esporas a lo largo de todo el año con un pico masivo de 901 esporas/m³, en septiembre de 2014 (fig. 3.15), mientras que el pico de 2015 ocurrió en junio y con un valor bastante inferior (352 esporas/m³). Los mínimos estuvieron repartidos en los dos periodos de estudio estando reflejado en febrero de 2014 para el primer periodo y en mayo de 2015 para el segundo.

Tabla 3. 17. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Bovista* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|
| 2014/2015 | 10 | 27 | 63 | 43 | 45 | 158 | 70 | 901 | 81 | 101 | 29 | 94 | 1653 |
| 2015/2016 | 57 | 59 | 131 | 27 | 352 | 152 | 210 | 127 | 145 | 41 | 66 | 46 | 1389 |

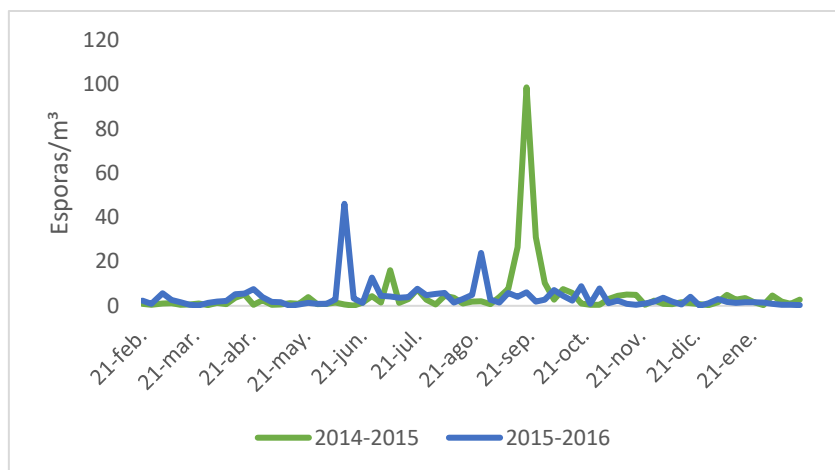


Figura 3. 15. Comportamiento estacional de esporas de *Bovista* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Respecto al PPE de *Bovista*, el inicio estuvo marcado por un mes de diferencia de un periodo respecto al otro (17 de abril de 2014 y 25 de marzo de 2015) como muestra la tabla 3.18, mientras que el final estuvo más próximo entre ambos periodos, resultando en una duración muy similar (269 días durante 2014-2015 y 277 en 2015-2016). El índice esporal estacional fue de 1487 esporas/m³, durante el periodo 2014-2015, siendo de 1250 esporas/m³, en 2015-2016. Los días pico estuvieron localizados el día 16 de septiembre de 2014, con 169 esporas/m³, frente al 10 de junio de 2015, con 79 esporas/m³.

Tabla 3. 18. Análisis del periodo principal de esporulación de *Bovista* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|------------|--------|--------|-----------------|----------|-----------|
| 2014-2015 | 1487 | 17-abr | 10-ene | 269 | 16-sep | 169 |
| 2015-2016 | 1250 | 25-mar | 26-dic | 277 | 10-jun | 79 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Deightoniella

Esta espora obtuvo un índice anual de 323 esporas/m³, durante 2014-2015 y de 212 esporas/m³, en 2015-2016 (tabla 3.19). Como se aprecia en la figura 3.16, la distribución mayoritaria de la espora se sitúa desde abril hasta septiembre, con las máximas concentraciones localizadas en julio en ambos años, siendo de 137 esporas/m³, en 2014 y de 51 esporas/m³, durante 2015. Los mínimos se establecieron en los meses invernales (diciembre, enero y febrero) con una o ninguna espora recogida como el caso de febrero de 2014.

Tabla 3. 19. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Deightoniella* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|----|----|----|-----|----|----|----|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | 8 | 37 | 36 | 49 | 137 | 25 | 18 | 7 | 3 | 1 | 2 | 323 |
| 2015/2016 | 1 | 4 | 12 | 7 | 18 | 51 | 42 | 44 | 26 | 5 | 1 | 1 | 212 |

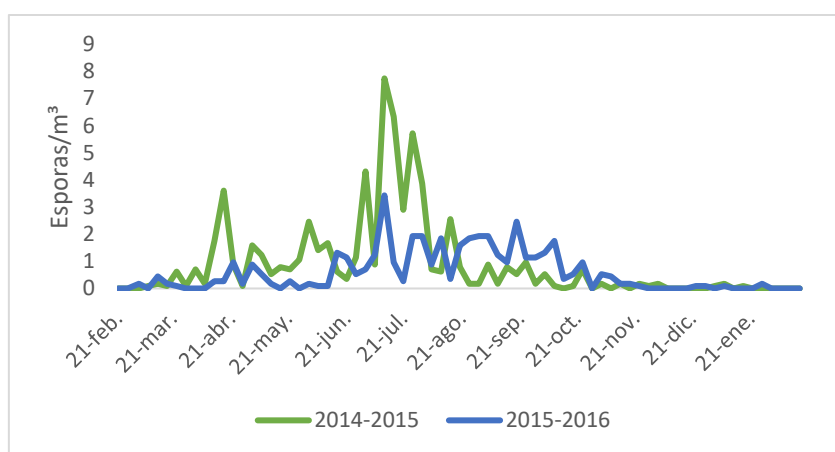


Figura 3. 16. Comportamiento estacional de esporas de *Deightoniella* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal de esporulación de *Deightoniella* se inició en abril en fechas muy similares (11 de abril de 2014 y 21 de abril de 2015) (tabla 3.20), con un mes de diferencia en su finalización, acabando el 24 de septiembre de 2014 y el 22 de octubre de 2015, pero con una duración similar (167 días en 2014-2015 y 185 días durante 2015-2016). El índice esporal estacional fue de 290 esporas/m³, durante el primer periodo, siendo de 191 en 2015-2016. Los picos de concentración registrados durante 2014 casi duplicaron los de 2015 con 14 esporas/m³, frente a las 8 esporas/m³, de 2014, estando localizadas dichas concentraciones en el mismo día (el 8 de julio).

Tabla 3. 20. Análisis del periodo principal de esporulación de *Deightoniella* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-------------------|---------------|------------|------------------------|-----------------|------------------|
| 2014-2015 | 290 | 11-abr | 24-sep | 167 | 8-jul | 14 |
| 2015-2016 | 191 | 21-abr | 22-oct | 185 | 8-jul | 8 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Dreschlera

A lo largo del periodo 2014-2015, *Dreschlera* obtuvo un índice esporal anual de 706 esporas/m³, muy superior frente al del periodo 2015-2016 (214 esporas/m³), como se aprecia en la tabla 3.21. Las concentraciones mensuales más elevadas estuvieron concentradas entre abril y mayo de 2014-2015 con 181 y 187 esporas/m³, respectivamente, mientras que 2015 registró valores mensuales más regulares a lo largo de todo el año (fig. 3.17) con el máximo recogido durante junio (37 esporas/m³). Los mínimos se establecieron en febrero de 2014 con 4 esporas/m³, mientras que durante 2015-2016 estuvieron localizado en octubre y noviembre con 9 esporas/m³, en ambos casos.

Tabla 3. 21. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Dreschlera* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | 4 | 30 | 181 | 187 | 84 | 51 | 18 | 34 | 57 | 25 | 13 | 15 | 706 |
| 2015/2016 | 11 | 18 | 21 | 24 | 37 | 30 | 18 | 15 | 9 | 9 | 11 | 13 | 214 |

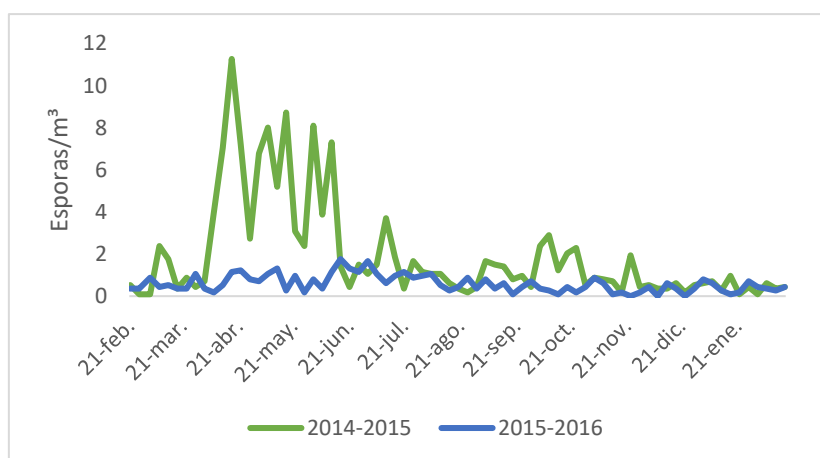


Figura 3. 17. Comportamiento estacional de esporas de *Dreschlera* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal de *Dreschlera* obtuvo diferencias en cuanto a su duración con 322 días en 2015-2016 frente a los 245 de 2014-2015, provocado por un inicio adelantado en un mes en 2015 (9 de marzo frente al 1 de abril de 2014) y finalizando el PPE también un mes más tarde respecto a 2014 (24 de enero frente al 1 de diciembre) (tabla 3.22). El índice esporal estacional fue de 635 esporas/m³, durante 2014-2015, mientras que en el periodo 2015-2016 fue de 192 esporas/m³. No obstante el pico máximo de concentraciones se registró durante 2014-2015 con 18 esporas/m³, frente a 3 esporas/m³, de 2015-2016, registradas el 16 de abril y 27 de marzo, respectivamente.

Tabla 3. 22. Análisis del periodo principal de esporulación de *Dreschlera* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|------------|--------|--------|-----------------|----------|-----------|
| 2014-2015 | 635 | 1-abr | 1-dic | 245 | 16-abr | 18 |
| 2015-2016 | 192 | 9-mar | 24-ene | 322 | 27-mar | 3 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Myxomycete

Myxomycete estuvo presente a lo largo de todo el año (tabla 3.23), siendo más abundante durante los meses de octubre y enero de 2014-2015 y en noviembre y diciembre de 2015-2016 (fig. 3.18).

Tabla 3. 23. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Myxomycete* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|-----|-----|----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2014/2015 | 22 | 108 | 62 | 84 | 34 | 80 | 48 | 106 | 739 | 260 | 166 | 338 | 2126 |
| 2015/2016 | 122 | 99 | 47 | 47 | 123 | 128 | 75 | 63 | 117 | 398 | 190 | 30 | 1404 |

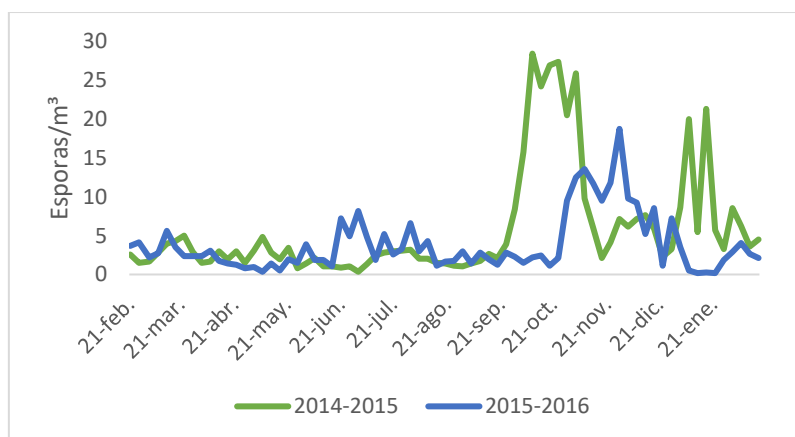


Figura 3. 18. Comportamiento estacional de esporas de *Myxomycete* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Los máximos de concentraciones se suceden entre octubre y noviembre con 739 esporas/m³, durante 2014-2015 y 398 esporas/m³, en 2015-2016, respectivamente. El índice esporal anual fue de 2126 esporas/m³, durante 2014-2015 y de 1404 esporas/m³, durante 2015-2016. Los mínimos se recogieron durante febrero de 2014 con 22 esporas/m³, mientras que durante 2015-2016 el mínimo se registró en enero de 2016 con 30 esporas/m³.

A pesar de esas diferencias en la concentración, el PPE de *Myxomycete* fue muy similar durante las dos anualidades con un inicio y final en las mismas fechas (inicio: 23 de marzo de 2014 y 10 de marzo de 2015; fin: 29 de enero de 2015 y 8 de enero de 2016). El índice esporal estacional fue de 1913 esporas/m³, durante 2014-2015, mientras que al periodo siguiente fue de 1263 esporas/m³. El PPP fue ligeramente más largo durante 2014-2015 con 313 días, frente a los 305 de 2015-2016 (tabla 3.24) y con los picos de máxima concentración localizados en noviembre en ambos años con 58 esporas/m³, el 3 de noviembre de 2014 y 36 esporas/m³, el 24 de noviembre de 2015.

Tabla 3. 24. Análisis del periodo principal de esporulación de *Myxomycete* a lo largo del estudio.

| | Total | Inicio | Fin | Duración | Día | Día |
|------------------|--------------|---------------|------------|-----------------|-------------|--------------|
| | PPE* | | | (días) | pico | pico* |
| 2014-2015 | 1913 | 23-mar | 29-ene | 313 | 3-nov | 58 |
| 2015-2016 | 1263 | 10-mar | 8-ene | 305 | 24-nov | 36 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Oidium

Si bien *Oidium* estuvo repartido a lo largo de todo el año, durante el periodo 2015-2016 obtuvo un índice esporal anual de 1009 esporas/m³, frente a 461 esporas/m³, en 2014-2015 (tabla 3.25).

Tabla 3. 25. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Oidium* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | 1 | 27 | 45 | 48 | 75 | 118 | 75 | 37 | 12 | 11 | 4 | 5 | 461 |
| 2015/2016 | 18 | 42 | 128 | 343 | 116 | 111 | 100 | 79 | 20 | 11 | 18 | 12 | 1009 |

La distribución de *Oidium* a lo largo del año mostró una concentración máxima en julio de 2014 con 118 esporas/m³, mientras que en 2015-2016 fue mayo el que registró la máxima concentración (fig. 3.19) con 343 esporas/m³. Los valores mínimos estuvieron registrados en febrero de 2014 con 1 espora/m³, y en enero de 2016 con 12 esporas/m³.

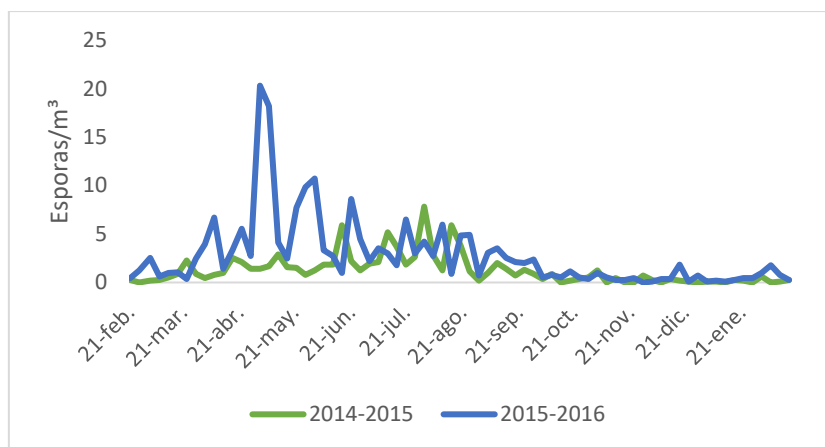


Figura 3. 19. Comportamiento estacional de esporas de *Oidium* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPE de *Oidium* tuvo un inicio y final situado en fechas muy próximas durante los dos años (24 de marzo de 2014 y 29 de marzo de 2015) (tabla 3.26), además de un final igualmente próximo (1 de noviembre de 2014 y 4 de noviembre de 2015), lo que resultó en una duración casi idéntica con 223 días en 2014-2015 y 221 días durante el periodo 2015-2016. El índice esporal estacional fue de 415 esporas/m³, durante 2014-2015, mientras que en 2015-2016 fue de 908 esporas/m³. Las concentraciones máximas registradas fueron bastante diferentes con 59 esporas/m³, el 2 de mayo de 2015 y 18 esporas/m³, el 28 de julio de 2014.

Tabla 3. 26. Análisis del periodo principal de esporulación de *Oidium* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-------------------|---------------|------------|------------------------|-----------------|------------------|
| 2014-2015 | 415 | 24-mar | 1-nov | 223 | 28-jul | 18 |
| 2015-2016 | 908 | 29-mar | 4-nov | 221 | 2-may | 59 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Phaeosphaeria

El índice esporal anual de *Phaeosphaeria* fue de 844 esporas/m³, durante 2014-2015 y de 732 esporas/m³, en 2015-2016, como se aprecia en la tabla 3.27. La máxima concentración estuvo recogida en noviembre de ambos años con 242 esporas/m³, durante 2014-2015 y 155 esporas/m³, en 2015-2016, junto con diciembre como el segundo mes con los máximos valores registrados. (fig. 3.20). Los valores mínimos se obtuvieron durante mayo y agosto de 2014 con 11 esporas/m³, mientras que durante 2015-2016 fue mayo el que registró el mínimo con el mismo número de esporas/m³ (11), seguido de febrero con 12 esporas/m³.

Tabla 3. 27. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Phaeosphaeria* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|-----|
| 2014/2015 | 20 | 48 | 34 | 11 | 37 | 59 | 11 | 69 | 29 | 242 | 217 | 61 | 844 |
| 2015/2016 | 12 | 16 | 36 | 11 | 68 | 48 | 52 | 40 | 55 | 155 | 104 | 96 | 732 |

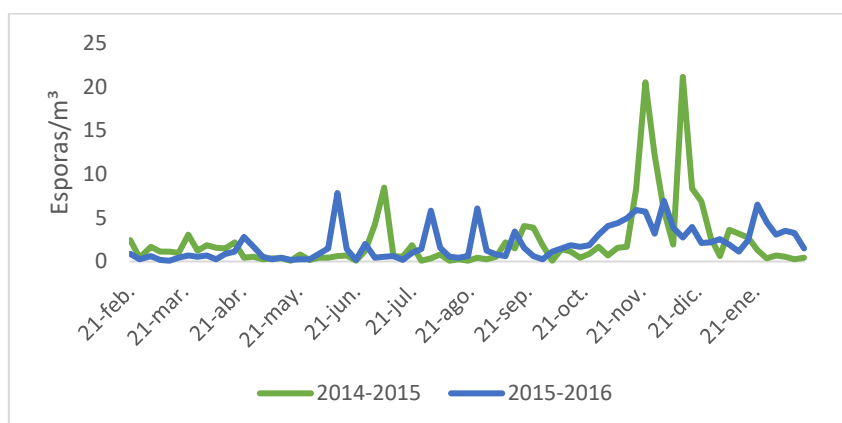


Figura 3. 20. Comportamiento estacional de esporas de *Phaeosphaeria* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPE tuvo una duración similar en ambos años con 303 días durante 2014-2015 y 292 días en 2015-2016, aunque tuvo un inicio y fin desplazado un mes en 2015 (inicio: 13 de marzo de 2014 frente al 18 de abril de 2015; fin: 9 de enero de 2015 y 3 de febrero de 2016) (tabla 3.28) El índice esporal estacional fue de 759 esporas/m³, durante 2014-2015, mientras que en el periodo 2015-2016, fue de 659 esporas/m³. Además se registró una diferencia notable en el día pico estando situado el 13 de diciembre de 2014, con 90 esporas/m³, mientras que fue de 29 esporas/m³, el día 30 de julio de 2015.

Tabla 3. 28. Análisis del periodo principal de esporulación de *Phaeosphaeria* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|------------|--------|-------|-----------------|----------|-----------|
| 2014-2015 | 759 | 13-mar | 9-ene | 303 | 13-dic | 90 |
| 2015-2016 | 659 | 18-abr | 3-feb | 292 | 30-jul | 29 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Phylacteria

El índice esporal anual de *Phylacteria* fue superior durante el periodo 2014-2015 con 296 esporas/m³, siendo 239 esporas/m³, registradas en 2015-2016 (tabla 3.29). Las máximas concentraciones se registraron durante noviembre de ambas anualidades con 70 esporas/m³, durante 2014 y 55 esporas/m³, en 2015, mostrando una diferencia algo abrupta en diciembre (fig. 3.21) con 52 esporas/m³, en 2014 frente a las 14 esporas/m³, registradas en 2015. Los mínimos se establecieron en enero de 2014-2015 con 9 esporas/m³ y en julio de 2015-2016 con 2 esporas/m³.

Tabla 3. 29. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Phylacteria* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 2014/2015 | 11 | 16 | 26 | 11 | 11 | 17 | 11 | 14 | 45 | 70 | 52 | 9 | 296 |
| 2015/2016 | 11 | 7 | 3 | 9 | 5 | 2 | 10 | 17 | 48 | 55 | 14 | 35 | 239 |

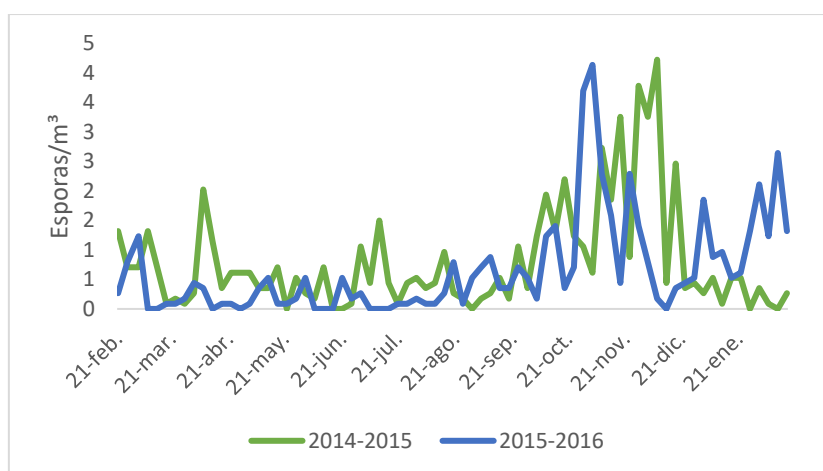


Figura 3. 21. Comportamiento estacional de esporas de *Phylacteria* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

A pesar de tener un periodo principal de esporulación con inicio en fechas similares (4 de marzo de 2014 y 14 de marzo de 2015) (tabla 3.30), el fin del mismo se alargó hasta el 10 de febrero de 2016, finalizando el 27 de diciembre en 2014, lo que ocasionó una duración de 299 días en 2014-2015, frente a 334 días en 2015-2016. El índice esporal estacional fue de 266 esporas/m³, durante el periodo 2014-2015, mientras que en 2015-2016 fue de 215 esporas/m³. Aún con esta diferencia, el día pico se estableció en días similares de noviembre (día 26 de 2014 y día 20 en 2015) con unas concentraciones casi idénticas (11 esporas/m³, en 2014 y 10 esporas /m³, en 2015).

Tabla 3. 30. Análisis del periodo principal de esporulación de *Phylacteria* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|------------|--------|--------|-----------------|----------|-----------|
| 2014-2015 | 266 | 4-mar | 27-dic | 299 | 26-nov | 11 |
| 2015-2016 | 215 | 14-mar | 10-feb | 334 | 20-nov | 10 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Stemphylium

El índice esporal anual (tabla 3.31) registró diferencias siendo de 445 esporas/m³, durante 2014-2015 y de 191 esporas/m³, en 2015-2016.

Tabla 3. 31. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Stemphylium* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|-----|
| 2014/2015 | 6 | 42 | 76 | 54 | 48 | 61 | 42 | 40 | 50 | 14 | 7 | 3 | 445 |
| 2015/2016 | 3 | 3 | 10 | 15 | 51 | 26 | 24 | 29 | 14 | 9 | 4 | 4 | 191 |

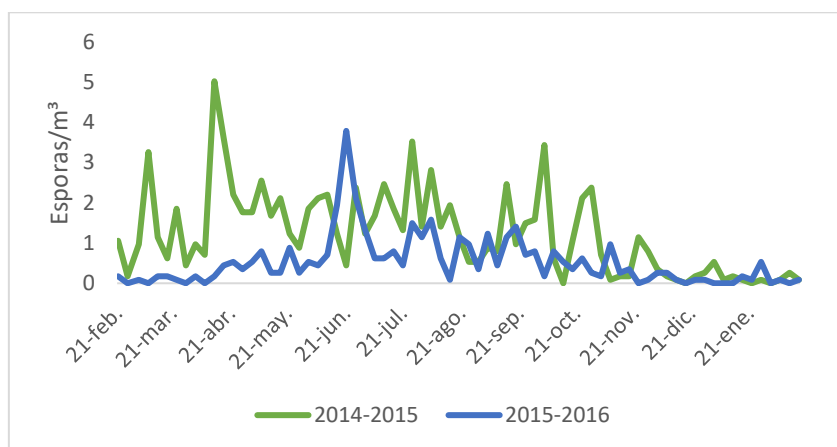


Figura 3. 22. Comportamiento estacional de esporas de *Stemphylium* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Stemphylium aunque estuvo distribuida a lo largo de todo el periodo de estudio (fig. 3.22), sus máximos valores se concentraron de abril a octubre en 2014-2015 y su máximo en abril con 76 esporas/m³, mientras que en 2015-2016 tuvo un máximo marcado en junio con 51 esporas/m³. Los mínimos estuvieron repartidos entre enero de 2014-2015 y febrero y marzo de 2015-2016 con 3 esporas/m³.

El periodo principal de esporulación tuvo una finalización situada en noviembre (los días 10 de noviembre de 2014 y 18 de noviembre de 2015) (tabla 3.32) aunque su inicio estuvo registrado con una diferencia de mes y medio de antelación en 2014-2015 (7 de marzo de 2014, frente al 22 de abril de 2015), ocasionando una duración de 249 días en 2014-2015, respecto a los 211 días del periodo 2015-2016. El índice esporal estacional fue de 400 esporas/m³, durante el primer periodo, mientras que durante 2015-2016, fue de 172 esporas/m³. Además, la diferencia mencionada respecto a los máximos en las concentraciones ocasionó que el pico de concentraciones se situara el 10 de abril de 2014, mientras que en 2015 se detectó el 19 de junio, aunque con valores de concentración similares (9 y 6 esporas/m³, respectivamente).

Tabla 3. 32. Análisis del periodo principal de esporulación de *Stemphylium* a lo largo del estudio.

| | Total | Inicio | Fin | Duración | Día | Día |
|------------------|--------------|---------------|------------|-----------------|-------------|--------------|
| | PPE* | | | (días) | pico | pico* |
| 2014-2015 | 400 | 7-mar | 10-nov | 249 | 10-abr | 9 |
| 2015-2016 | 172 | 22-abr | 18-nov | 211 | 19-jun | 6 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

Torula

Las concentraciones de *Torula* fueron ligeramente diferentes entre ambos años (fig. 3.23), ocasionando un índice esporal anual de 295 esporas/m³, durante 2014-2015 y de 353 esporas/m³ en 2015-2016 (tabla 3.33). La concentración máxima se registró en mayo de 2014, con 63 esporas/m³ y en junio de 2015, con 71 esporas/m³, seguido por julio con 69 esporas/m³. Los mínimos se situaron en febrero de 2014 al no registrarse ninguna espora y en enero de 2016 con solamente 1 espora/m³.

Tabla 3. 33. Concentraciones mensuales totales de esporas de *Torula* capturadas durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | - | 36 | 34 | 63 | 33 | 31 | 16 | 17 | 36 | 5 | 4 | 13 | 295 |
| 2015/2016 | 9 | 28 | 15 | 55 | 71 | 69 | 37 | 28 | 22 | 8 | 13 | 1 | 353 |

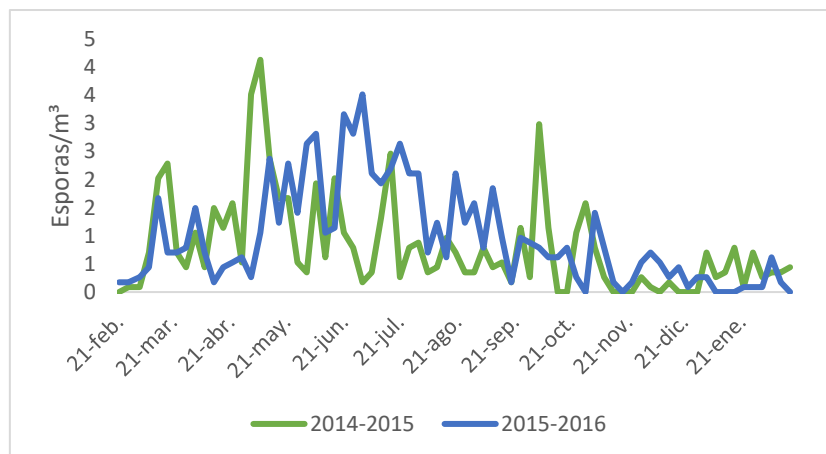


Figura 3. 23. Comportamiento estacional de esporas de *Torula* detectadas durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPE mostró un inicio en fechas similares de marzo de ambos años (día 13 en 2014 y día 19 en 2015), con la diferencia de su finalización de mes y medio más tarde en el primer periodo (13 de enero de 2014-2015 respecto al 1 de diciembre de 2015-2016) (tabla 3.34). El índice esporal estacional fue de 265 esporas/m³, durante 2014-2015, siendo de 317 esporas/m³, en el periodo 2015-2016. La duración del periodo fue superior durante 2014-2015 con 307 días, mientras que en 2015-2016 fue de 258 días. La concentración máxima fue la misma en ambos años con 7 esporas/m³, pero localizadas el 2 de octubre de 2014 y el 2 de junio de 2015.

Tabla 3. 34. Análisis del periodo principal de esporulación de *Torula* a lo largo del estudio.

| | Total PPE* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-------------------|---------------|------------|------------------------|-----------------|------------------|
| 2014-2015 | 265 | 13-mar | 13-ene | 307 | 2-oct | 7 |
| 2015-2016 | 317 | 19-mar | 1-dic | 258 | 2-jun | 7 |

PPE: Periodo Principal de Esporulación.

*Concentraciones en esporas/m³

PORCENTAJE DE REPRESENTACION MEDIO INFERIOR AL 0,09%

En este grupo se incluyen todas aquellas esporas que no supusieron más de un 0.09%. Al tratarse de un gran grupo de esporas, las cuales en su mayoría aparecen de forma testimonial o en un número especialmente bajo entre los dos años de estudio (su porcentaje medio entre los dos años es del 0.6%), simplemente se mencionan a continuación.

Dicho grupo incluye:

Ascobolus, Caloplaca, Capronia, Cercospora, Cerebella, Chaetomium, Curvularia, Diatrypaceae, Entoloma, Exosporium, Fossombronia, Fusarium, Helicoma, Helmintosporium, Inocybe, Isthmospora, Leptosphaerulina, Lophiostoma, Massarina, Nigrospora, Octospora, Paraphaeosphaeria, Passalora, Peronospora, Polythrincium, Pteridium, Puccinia, Pithomyces, Saccobolus, Spegazzinia, Spondillocladiella, Sporormiella, Tilletia, Ustilago, Venturia y Xilariaceae.

ARTÍCULO II

Comparison of *Alternaria* spore levels between two zones within the same city in Salamanca (Middle West of Spain)

*Comparativa de los niveles esporales de *Alternaria* entre dos zonas en la misma ciudad de Salamanca (Centro Oeste de España)*

El artículo que se presenta a continuación ha sido redactado y enviado para su posible publicación en la revista **Aerobiología**. La información contenida en él muestra, de forma complementaria al estudio del aerosol fúngico, la comparativa de niveles de esporas de *Alternaria* entre dos zonas de la ciudad de Salamanca. Dicho artículo ha sido posible gracias a la colaboración entre el Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario de Salamanca y el Grupo de Palinología y Conservación Vegetal de la Universidad de Salamanca, en la realización del proyecto: ‘Determinación del perfil epidemiológico-clínico y perfil de sensibilización en pacientes alérgicos a la *Alternaria*. Estudio del recuento de esporas de *Alternaria* en la ciudad de Salamanca y su correlación con las condiciones atmosféricas’, financiado por la Gerencia Regional de Salud, de la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León.

En el momento de escribir esta Memoria Doctoral se encuentra en estado de Editor asignado, en espera del proceso de revisión. Al no tratarse de un artículo publicado sino de uno enviado, la presentación del mismo sigue las directrices de la revista, con los mismos criterios bibliográficos, fuente y formato. Además se incluye, al igual que para el resto de artículos ya publicados, un resumen en español del mismo.

Comparación de los niveles esporales de *Alternaria* entre dos zonas de la misma ciudad de Salamanca (centro oeste de España).

Fuentes Antón, S.^{1,2}, Sánchez Reyes E.^{1,6}, Rodríguez de la Cruz D.^{1,2}, García Sánchez A.^{3,4}, Dávila I.^{3,4,5} & Sánchez Sánchez, J.^{1,2}

¹Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE), Universidad de Salamanca, Río Duero 12, 37185 Villamayor, Salamanca, España.

²Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal, Facultad de Farmacia, Universidad de Salamanca, Licenciado Méndez Nieto s/n, 37007, Salamanca, España.

³Departamento de ciencias Biomédicas y del Diagnóstico, Facultad de Medicina, Universidad de Salamanca, Alfonso X, El Sabio s/n, 37007, Salamanca, España.

⁴Instituto de Investigación Biomédica de Salamanca.

⁵Servicio de Inmunología, Hospital Universitario de Salamanca, España.

⁶Universidad Católica de Ávila, Canteros s/n 05005, Ávila, España.

Email: u87950@usal.es

Resumen

El propósito de este estudio es contribuir al conocimiento sobre esporas fúngicas en la atmósfera de la ciudad de Salamanca (MW Spain), mediante el estudio comparativo de los niveles de esporas de *Alternaria* en dos puntos de muestreo diferentes dentro de la misma ciudad. El estudio se llevó a cabo en términos de distribución estacional y horaria y la posible influencia de los principales parámetros meteorológicos sobre sus concentraciones atmosféricas. El muestreo se llevó a cabo desde el 17 de febrero de 2014 hasta el 16 de febrero de 2016, ambos incluidos, con dos captadores volumétricos tipo Hirst, en dos edificios de la ciudad, uno en un entorno seminatural, en la periferia de la ciudad, y otro en el centro ciudad, separados 1,4 km. Tras los dos años de muestreo, los valores totales anuales de *Alternaria* variaron muy poco respecto a la situación de los captadores. Los valores máximos coincidieron durante 2014 en el mismo día con cantidades similares, estando más diferenciados durante 2015 tanto en fecha como en concentración. Estudiando la estacionalidad, la distribución de *Alternaria* en la atmósfera no encontró diferencias respecto a la duración del periodo principal de esporulación así como en el número de días con niveles de riesgo para la salud (concentraciones superiores a 100 esporas/m³). Respecto a las correlaciones, los análisis realizados entre las concentraciones diarias en ambos captadores, obtuvieron resultados altamente significativos y positivos. Las correlaciones con factores meteorológicos más positivamente significativas se dieron con la temperatura y la insolación, estando negativamente correlacionadas la humedad y las precipitaciones.

Palabras clave: *Alternaria*, conteo esporal, comparativa de captadores, España

Comparison of *Alternaria* spore levels between two areas within the same city (Salamanca, Middle West Spain)

*Fuentes Antón, S.^{1,2}, Sánchez Reyes E.^{1,6}, Rodríguez de la Cruz D.^{1,2}, García Sánchez A.^{3,4}, Dávila I.^{3,4,5} & Sánchez Sánchez, J.^{1,2}

¹Spanish-Portuguese Agricultural Research Institute (CIALE), University of Salamanca, Río Duero 12, 37185 Villamayor, Salamanca, Spain.

²Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Pharmacy, University of Salamanca, Licenciado Méndez Nieto s/n, 37007, Salamanca, Spain.

³Department of Biomedical and Diagnostic Sciences, Faculty of Medicine, University of Salamanca, Alfonso X, El Sabio s/n, 37007, Salamanca, Spain

⁴Institute for Biomedical Research of Salamanca (IBSAL), Salamanca, Spain

⁵Immunoallergy Service, University Hospital of Salamanca, Salamanca, Spain.

⁶Catholic University of Ávila, Canteros s/n 05005, Ávila, Spain.

E-mail: u87950@usal.es

Abstract

The purpose of this study is to contribute to the knowledge about fungal spores in the atmosphere of the city of Salamanca (Middle West Spain), through the comparative study of *Alternaria* spore levels in two different sampling points within the same city. The study was done in terms of seasonal and hourly distribution and the possible influence of the main meteorological parameters on their atmospheric concentrations. The sampling was carried out from 17 February 2014 to 16 February 2016, both included, with two Hirst-type volumetric spore trap samplers, in two buildings in the city: one in a semi-natural environment, on the outskirts of the city, and the other in the city centre, 1.4 km apart. After the two years of sampling, the total annual values of *Alternaria* varied very little concerning the situation of the samplers. The maximum values coincided in the two spore traps during 2014 on the same day with similar amounts, whereas in 2015 the difference was more noticeable both in date and amount. In the study of the seasonality of *Alternaria*'s atmospheric distribution, there were no differences in the length of the main spore season nor the number of days with health risk levels (concentrations above 100 spores/m³). With regard to correlations, the analyses carried out between daily concentrations in both samplers obtained highly significant and positive results. The influence of meteorological parameters on spore levels, showed a positive effect of temperature and sunshine, as well as a negative one for humidity and rainfall.

Keywords: *Alternaria*, Spore count, Trap comparison, Spain

1 Introduction

The mushroom world is cosmopolitan. Its ubiquitous nature makes the Fungi kingdom present in most environments on Earth. These organisms are capable of creating a large number of spores that influence various aspects of human life, including food, agriculture and even human health (Caretta, 1992). Allergic diseases have increased in the last decades affecting the population more and more frequently, which generates greater interest in aerobiological studies with a particular focus on fungal spores present in the atmosphere (Erkara et al., 2009). These studies cover multiple aspects, from the interaction of spores with meteorological factors (Olsen et al., 2019a) to the creation of spore calendars (Ščevková and Kováč, 2019), the study of seasonal and intradiurnal variation (Khan et al., 2016) and the interaction between spores and their allergenicity (Grewling et al., 2019).

There are a large number of fungal spores related to allergic processes, of which the most commonly studied are those of the genera Ascomycota *Alternaria* Ness, *Cladosporium* Link, *Aspergillus* P. Micheli and *Penicillium* Link (O’Gorman and Fuller, 2008). This is due to the large amount of these spore types in the air and the fact that more and more people are sensitized to them. That implies that they may be involved in diseases such as asthma and allergic rhinitis, due to the sensitization to fungal allergens and the influence of toxic components present on them called mycotoxins, that have a direct impact on human health (Fernández Rodríguez et al., 2014; Stetzenbach and Krauter, 2016).

The role of *Alternaria* spores in allergic processes has been known for a long time. The works of Deamer and Graham (1947) already pointed out the allergenic potential of this spore type, particularly in children. Research on the effect of these spores on allergic processes in both adults and children continues nowadays (Aydogdu and Asan, 2008; Lee et al., 2017). In addition, it is a very common spore as it is a fungus involved in the decomposition of organic matter (Erkara et al., 2008) and is associated with crops such as cereals, potatoes and tomatoes (Bessadat et al., 2017), as a plant pathogen on different substrates (Bardei et al., 2017; Escuredo et al., 2019). That is the main reason why *Alternaria* is linked to agricultural land’s presence, and the release of its spores into the atmosphere is closely related to harvesting processes (Sánchez Reyes et al., 2016). For this reason, this spore type is particularly frequent in the Mediterranean region (Maya Manzano et al., 2016; Marchesi 2020) although in other areas of northern Europe it is also frequent and reaches important values (Grinn Gofroń et al., 2016).

In Spain, the study of spores and specifically of *Alternaria* has been approached from the perspective of their relationship with meteorological parameters (Sabariego et al., 2000; Recio et al., 2012), and, more recently, their influence on human health is also being taken into account (Armentia et al., 2019). However, in the Spanish region of Castile and Leon, these studies are still

scarce and most of the work carried out includes data from decades ago, such as the studies carried out in Leon (Fernández et al., 1998), Palencia (Herrero et al., 1996), Zamora (González Parrado et al., 2009) or in Salamanca itself (Pérez Gorjón et al., 2003). In Valladolid, located near the city of Salamanca, more recent studies have been carried out related to *Alternaria* and its dynamics in the atmosphere, as well as to its role and influence on human health (Sánchez Reyes et al., 2009; Sánchez Reyes et al., 2016; Armentia et al., 2019).

One type of study that is becoming increasingly abundant is the comparison between different areas about the number of airborne spores depending on the location of the different samplers, either between different areas of the same city (Patel et al., 2018), between environments in nearby cities (Oliveira et al., 2009a), or even between different cities that are far away from each other (Kasprzyk et al., 2015). However, such space-based studies of *Alternaria* are still scarce in Europe (Skjøth et al., 2016).

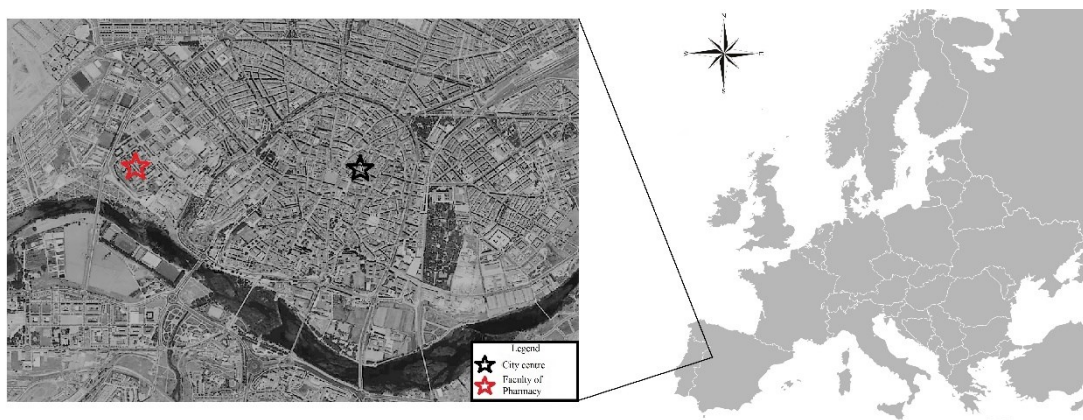
In a previous article, Fuentes et al. (2019) evaluated the fungal concentration of spores in Salamanca's atmosphere. As a result of this work, the first spore calendar for this city was published, together with the analysis of seasonality and daily distribution of the most abundant spores in the city's atmosphere. This article aims to provide more detailed information on *Alternaria* by comparing the results obtained after analysing the content of these spores from two different areas of the city, in terms of seasonal behaviour, intradiurnal patterns and correlations with the main meteorological parameters, as well as to compare *Alternaria* atmospheric levels in the city with the threshold levels established for the allergic population.

2 Materials and Methods

Aerobiological sampling took place at two different points in the city using two Hirst-type spore trap samplers (Hirst, 1952). The first spore trap was located on the roof of a historical building in the city centre, at the height of 14 m. The second trap was located on the roof of the Faculty of Pharmacy of the University of Salamanca in a semi-urban environment at a height of 25 m. The distance separating both samplers is approximately 1.4 km (fig. 1) and they were operating uninterruptedly from 17 February 2014 to 16 February 2016. The methodology to be followed for obtaining and processing the samples was that established by the Spanish Aerobiology Network (Galán et al., 2007); thus, the minimum requirements for aerobiological sampling as established by Galán et al., (2014) were met. This methodology consists of performing four longitudinal scans equidistant from each other along the length of the slide, at 400x magnification in an optical microscope. The data obtained were expressed as spores/m³, using the term ASIn (Annual Spore Integral) to express the total annual quantities obtained as indicated in the methodology (Galán et al., 2017).

To understand the behaviour of *Alternaria* spores in the atmosphere, the main spore season (MSS) was established, expressed according to the methodology developed by Galán et al. (2017). To this end, the season was set at 90%, with the beginning established when 5% of total annual spores were recorded and the end when 95% were captured (Nilsson and Persson, 1981). Once the MSS was established for the two samplers, the most important factors of this period were studied (start, end and length duration in days). Together with the MSS study, the seasonality of *Alternaria* spores was analysed in order to determine their prevalence in the atmosphere, as well as their peak day and the maximum values reached. For this purpose, graphs with the distribution between the months of maximum presence (May-November) were established, using the average of the previous five days to smooth out trends. Regarding the threshold values above which the presence of *Alternaria* spores can influence human health, the limit of 100 spores/m³ proposed by Gravesen (1979) was established.

Figure 1 Location of the two spore traps in the city of Salamanca



The study of the intradiurnal variation was carried out using the period covered by the MSS by calculating the percentage of *Alternaria* spores present in each hour of the day and expressing the results in a column chart, one for each year of study. The graphical representation was carried out by expressing the results in a bi-hourly manner (Aira et al., 2003).

The comparison of *Alternaria* levels obtained in both spore traps was performed using Spearman's non-parametric test (since the data did not follow a normal distribution) of SPSS software (version 23). Correlations were calculated according to the main spore season for each year of study independently. Also, the two years were analysed jointly in order to find possible differences. Correlations were made, on the one hand, with the daily totals of the MSS for each year and, on the other hand, by separating the data by month, both for each year individually and for the two years together.

Correlations with the main meteorological parameters were performed to determine the potential influence of meteorology on the concentrations recorded in the interior and the periphery of the

city. To this end, correlations were established between *Alternaria* spores and various meteorological factors along the MSS. On the one hand, each study year was analysed in both locations in order to observe the possible differences in the influence of the meteorological parameters on the number of spores in the atmosphere and, on the other hand, the two study years were analysed together. The meteorological parameters studied were temperature (maximum, minimum and average) (°C), rainfall (mm), relative humidity (%), wind speed (km/h), wind frequencies from the four quadrants (NE, SE, SW and NW) (%), calm frequency (%) and hours of sunshine (hours). The meteorological data were provided by the State Agency of Meteorology (AEMET), obtained from the airbase of Matacán, located 14 km from the centre of Salamanca.

3 Results

3.1 Comparison of meteorological values during the study period.

The meteorological parameters that showed the most significant differences during the two study years (2014-2016) were temperature and rainfall (Table 1). Average monthly temperatures did not differ much; they were slightly higher from March to August 2015 than the previous year, and December and January presented values that doubled the temperature of the same months in 2014. Concerning maximum temperatures, the pattern was quite similar, except in June and July 2015, where the temperature was 2.6 and 4.1 degrees higher, respectively, and December was 5 degrees higher than the previous year (8.6 °C in 2014 and 13.6 °C in 2015). The minimum temperatures collected were reasonably similar, except for September 2014, which was 3.4 degrees warmer than 2015, and January 2015, which was very distant from January 2016 (-3.8 °C in 2015 compared to 2.3 °C in 2016). On the other hand, rainfall showed considerable differences concerning its distribution throughout the year. During 2014, the maximum rainfall was recorded in November, followed by February, while the rest of the year there were rather low values that even reached zero in August. During 2015, rainfall was distributed in a completely different way; the maximums collected occurred in June and April, while the rest of the year collected lower values of rainfall, although in no case reached zero. In January 2016, the maximum values for the entire study period reached a total of 101.5 mm. The relative humidity showed hardly any difference between the values collected for each year, with almost identical values during the summer months.

Table 1 Monthly average values of meteorological parameters for the studied period (2014-2016)

| 2014/2015 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tmax | 10.3 | 15.4 | 19.8 | 22.4 | 26.6 | 29.0 | 29.6 | 26.4 | 23.7 | 14.1 | 8.6 | 9.3 |
| Tmin | 0.1 | 0.3 | 5.2 | 6.5 | 9.3 | 11.3 | 11.1 | 10.2 | 7.4 | 3.8 | -1.9 | -3.8 |
| Tmean | 5.2 | 7.8 | 12.5 | 14.4 | 17.9 | 20.2 | 20.3 | 18.3 | 15.5 | 8.9 | 3.3 | 2.7 |
| Rainfall | 48.6 | 24.8 | 22 | 20.9 | 2.6 | 10.3 | 0 | 26.5 | 32.8 | 72.9 | 3.2 | 9.7 |
| RH | 76 | 67 | 69 | 57 | 57 | 58 | 59 | 65 | 66 | 79 | 81 | 77 |
| Wind speed | 19 | 12 | 12 | 14 | 11 | 10 | 7 | 7 | 8 | 13 | 6 | 10 |
| Winds NE | 1.6 | 20.8 | 12.3 | 31.6 | 25.6 | 33.5 | 20 | 19.6 | 13 | 13.2 | 34.6 | 20 |
| Winds SE | 2.6 | 16 | 12.1 | 5.6 | 10.5 | 9.6 | 5.9 | 13.6 | 13.3 | 15 | 20.6 | 20.3 |
| Winds SW | 65.4 | 27.7 | 38.9 | 25.3 | 26.6 | 20.5 | 14.8 | 28.7 | 33.3 | 42.1 | 10.5 | 22.2 |
| Winds NW | 20 | 22.4 | 26.8 | 31.2 | 27 | 24.7 | 45.4 | 16.7 | 11.5 | 17.5 | 12.1 | 19.1 |
| Calm freq | 10 | 12.9 | 9.5 | 5.8 | 9.6 | 11.2 | 13.3 | 18.7 | 28.7 | 12 | 21.6 | 17.9 |
| Sunlight | 4.1 | 7.3 | 8.4 | 11.2 | 12.4 | 11.7 | 11.8 | 8.5 | 8.0 | 3.2 | 4.5 | 5.8 |

| 2015/2016 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Tmax | 9.4 | 16.1 | 18.8 | 24.7 | 29.2 | 33.1 | 30.3 | 24.8 | 19.9 | 15.6 | 13.6 | 10.6 |
| Tmin | -1.3 | 0 | 5.1 | 7.5 | 11.5 | 12.8 | 11.3 | 6.8 | 5.9 | 1.3 | -0.3 | 2.3 |
| Tmean | 4.0 | 8.0 | 12.0 | 16.1 | 20.3 | 23 | 20.8 | 15.8 | 12.9 | 8.5 | 6.6 | 6.4 |
| Rainfall | 18.5 | 2.4 | 47 | 4.6 | 51.2 | 2.2 | 2.3 | 10.5 | 32.8 | 24.6 | 13.6 | 101.5 |
| RH | 74 | 63 | 64 | 57 | 58 | 56 | 58 | 57 | 70 | 71 | 75 | 77 |
| Wind speed | 15.5 | 11.6 | 12.4 | 14.1 | 8.9 | 7.9 | 8.9 | 8.9 | 10.9 | 6.7 | 7.1 | 14.5 |
| Winds NE | 20.1 | 41.4 | 22.2 | 40.4 | 30.5 | 18.5 | 21.3 | 24.1 | 26.2 | 22.1 | 16.9 | 12.1 |
| Winds SE | 7.3 | 13 | 25.2 | 11 | 16.2 | 10.5 | 12.2 | 12.5 | 17.4 | 21.5 | 31.8 | 12.8 |
| Winds SW | 26.3 | 13.8 | 25 | 23.8 | 20.4 | 17.1 | 21.5 | 22.8 | 28.4 | 15.6 | 25 | 49.5 |
| Winds NW | 38.5 | 17.5 | 18.2 | 16.6 | 20.6 | 39.3 | 32.2 | 19.9 | 11 | 13.1 | 6.7 | 12.9 |
| Calm freq | 7.5 | 14.1 | 9.1 | 7.9 | 11.9 | 14.3 | 12.5 | 17 | 16.7 | 27 | 19.3 | 10.9 |
| Sunlight | 4.9 | 7.8 | 8.1 | 11.9 | 10.7 | 12.6 | 10.8 | 9.0 | 6.1 | 5.7 | 4.3 | 3.0 |

Tmax: maximum daily average temperature (°C), **Tmin:** minimum daily average temperature (°C), **Tmean:** mean daily average temperature (°C), **Rainfall:** total daily rainfall (mm), **RH:** daily average relative humidity (%), **Wind Speed:** daily average wind speed (km/h), **Winds NE:** daily average frequency of North-Easterly winds (%), **Winds SE:** daily average frequency of South-Easterly winds (%), **Winds SW:** daily average frequency of South-Westerly winds (%), **Winds NW:** daily average frequency of North-Westerly winds (%), **Calm Freq:** daily average frequency of calms (%), **Sunlight:** daily average sunshine (hours).

The wind factor obtained similar values in terms of speed; minimum values were distributed in the summer months in both years of study, reaching a maximum of 10 km/h. In 2015, wind speed values were also low in November (which registered the lowest average speed of that year) and December. In 2014, December recorded the lowest value for that year. Regarding wind direction, it behaved differently each year. A predominance of SW direction was observed throughout the year 2014, with May, July and December being more influenced by NE winds. During 2015, the NE and NW winds were predominant throughout the year. SE and SW winds were predominant in December and January 2016, respectively, while their values were similar in April. The sunshine remained at similar values throughout the two years of the study; the most considerable difference was found in November, which in 2015 registered more sunshine hours than in 2014

(5.7 hours on daily average compared to 3.2). The opposite phenomenon occurred in January, where 2015 averaged 5.8 hours of sunshine while 2016 averaged only 3.0 hours.

3.2 Comparison of aerobiological behaviour from the point of view of allergenic potential.

During 2014, the two samplers showed quite similar behaviour, while in 2015 the differences were more evident (Table 2). In 2014, the spore trap located in the city centre registered an annual integral (ASIn) of 6,105 spores/m³ of *Alternaria*, while the trap located in the Faculty of Pharmacy collected 6,747 spores/m³. The maximum daily concentration (263 spores/m³ in the central zone and 286 in the semi-natural zone) coincided on the date (9 July). Furthermore, the risk levels, established for those days in which the daily concentration exceeded the limit of 100 spores/m³, also coincided in number of days exceeding this amount (15) and were distributed in the last three weeks of July in both spore traps.

Table 2 *Alternaria* data from both spore monitoring sites

| | City centre | | | | Faculty of Pharmacy | | | |
|-------------|-------------|-------------------------|---------------|--|---------------------|-------------------------|---------------|--|
| | ASIn | Peak value ^a | Peak day date | Days above threshold levels ^b | ASIn | Peak value ^a | Peak day date | Days above threshold levels ^b |
| 2014 | 6,105 | 263 | 9-Jul | 15 | 6,747 | 286 | 9-Jul | 15 |
| 2015 | 4,538 | 134 | 2-Sep | 3 | 5,610 | 291 | 17-Jun | 5 |

^aSpores/m³

^b*Alternaria* threshold value: >100 spores/m³

In 2015, the differences were reflected both in the ASIn (4,538 spores/m³ in the city centre and 5,610 in the periphery) and in the peak day and value, which was located on 2 September for the spore trap of the centre (with a maximum value of 134 spores/m³), and 17 June in the trap of the Faculty of Pharmacy (with 291 spores/m³). The days with risk values (exceeding concentrations of more than 100 spores/m³) were significantly less numerous in the second year of study; that amount was only exceeded on three days in the centre (17 June, 8 July and 2 September) and five days in the periphery (16-20 June).

Concerning the monthly numbers of *Alternaria* spores present in the atmosphere, similarities between both zones were observed (Table 3). Throughout the first year of study, the spore trap of the Faculty of Pharmacy recorded in most months a higher number of spores than the one in the centre of the city. However, in September and October, the centre sampler recorded about 100 and 30 spores more than the semi-natural sampler, respectively. In the period 2015-2016, the trap of the periphery obtained greater numbers with respect to the centre for all the months of the year. Comparing both years, we can see that the closest values are located between June and July of both years. In 2014, July was the month of maximum abundance (above 3,000 *Alternaria* spores),

while in 2015 June registered the highest total values. September also showed a rather high figure especially in the city centre, while in the periphery values remained high from June to September.

Table 3 Total monthly values of *Alternaria* spores

| | 2014 2015 | | 2015 2016 | |
|-----------------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| | City centre | Faculty of Pharmacy | City centre | Faculty of Pharmacy |
| February^a | 7 | 5 | 3 | 9 |
| March | 35 | 70 | 22 | 54 |
| April | 73 | 226 | 99 | 153 |
| May | 157 | 252 | 287 | 315 |
| June | 502 | 581 | 896 | 1,536 |
| July | 3,107 | 3,260 | 864 | 868 |
| August | 705 | 820 | 662 | 721 |
| September | 816 | 729 | 849 | 928 |
| October | 574 | 547 | 491 | 541 |
| November | 70 | 127 | 297 | 348 |
| December | 23 | 68 | 60 | 93 |
| January | 28 | 51 | 6 | 29 |
| February^a | 3 | 11 | 1 | 15 |

^a February was analysed with the last two weeks of the first year considered and the first two weeks of the second one.

3.3 Comparison of the main spore season (MSS) and seasonality.

About the MSS, 2014 showed more differences than 2015. During the first year of study, the MSS went from 2 June to 22 October (Table 4), with a duration of 143 days for the city centre while, in the periphery, the period began almost a month earlier but ended on similar dates (8 May to 25 October, with 171 days). Regarding the year 2015, the main seasons of both samplers were quite adjusted to the same dates, with a difference of five days at the beginning; the season began on 9 May for the centre, and the 4th of the same month for the semi-natural environment, but ended in both cases on the same date (10 November). Both concluded with a similar number of days (186 for the centre spore trap and 191 for the Faculty spore trap).

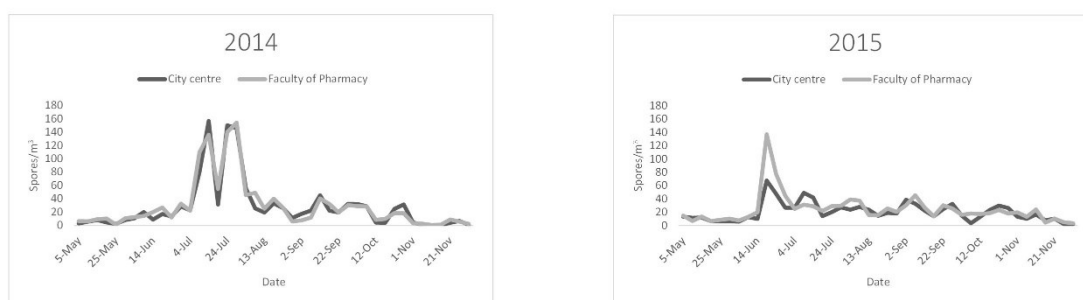
Table 4 Main Spore Season (MSS) of *Alternaria* during the study period

| | City centre | | | Faculty of Pharmacy | | |
|------------------|-------------|---------|-------------------|---------------------|---------|-------------------|
| | Start MSS | End MSS | MSS length (days) | Start MSS | End MSS | MSS length (days) |
| 2014-2015 | 2-Jun | 22-Oct | 143 | 8-May | 25-Oct | 171 |
| 2015-2016 | 9-May | 10-Nov | 186 | 4-May | 10-Nov | 191 |

The seasonality (fig. 2) reflects a similar behaviour throughout the year for both spore traps. The graphs show the period from May to November to cover the entire MSS and to observe the

beginning of the season with the highest abundance. The values of maximum presence in the atmosphere are found between June and August, and there are differences in the presence of *Alternaria* between both years. During 2014, two peaks can be observed in July, separated only by a sharp drop around 20 July. The second peak extends until early August and represents the maximum amount of *Alternaria* spores in both spore traps. This behaviour is not repeated in 2015, where the maximum peak is registered in the second half of June with differences between spore traps regarding the number of spores present in the atmosphere, being more abundant in the periphery.

Figure 2 Seasonality of *Alternaria* between both sampling points in the study period



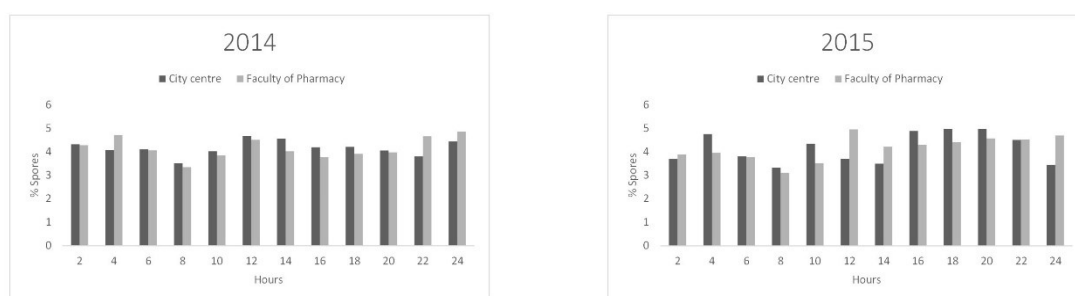
3.4 Comparison of intradiurnal values.

The hourly distribution of *Alternaria* spores obtained a reasonably regular pattern throughout the day, although depending on the year and weather conditions, results may differ.

During 2014 the bi-hourly percentage of spores remained between 3-4% (fig. 3). A period of increase was found from 8h to 14h, at which time the concentration decreased, remaining at similar values until the early evening, when it increased again (22-24h). The increases and decreases were more pronounced in the semi-natural area, while the percentages were more stable in the central area.

In the year 2015, the graph indicated some differences between the two spore trap samplers. On the one hand, the trap in the city centre had a more abrupt distribution, especially between 8-14h, and showed a decrease from 10h to 12h and from 22h to 24; values were higher from 16h to 20h and a peak around 4h close to 5%. On the other hand, the Faculty of Pharmacy's trap obtained similar results to 2014, with a very similar trend.

Figure 3 Intradiurnal patterns of *Alternaria* established during the Main Spore Season



3.5 Statistical correlations between both spore traps.

The correlations between the daily values of *Alternaria* obtained in the two spore traps were analysed globally over the two years of the study and monthly (Table 5). The correlation coefficients obtained were high and statistically significant for the two years together and separately for each year. Analysing the relationships between the two areas for each month of the year, we observed that June and July contributed the most to the presence of *Alternaria* spores in the atmosphere. In the first year, the highest correlation was obtained in July, whereas in the second year the maximum was reached in June.

Table 5 Spearman correlation coefficients between both monitoring sites

| | 2014-2015 | 2015-2016 | 2014-2016 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Annual | .824** | .836** | .833** |
| Monthly | | | |
| February^a | .414 | .255 | .285 |
| March | .571** | .438* | .524** |
| April | .705** | .474** | .556** |
| May | .580** | .345 | .465** |
| June | .246 | .866** | .633** |
| July | .829** | .370* | .765** |
| August | .580** | .577** | .595** |
| September | .608** | .473** | .518** |
| October | .629** | .493** | .583** |
| November | .758** | .560** | .721** |
| December | -.178 | .454* | .206 |
| January | .358* | .363* | .477** |
| February^a | -.285 | .460 | -.018 |

Significance level: **99%; *95%

^aFebruary was analysed with the last two weeks of the first year considered and the first two weeks of the second one of the data set.

During 2014, November also contributed quite significantly to the relationship between the two study areas. In contrast, during the first year of study, the months where the relationships were not significant or recorded negative values were the coldest (December, January and February)

and also June. During the second year, May and February obtained a non-significant correlation, while December, January, March and July did achieve a significant value, but a low coefficient. Globally, analysing the months of the two years together, the results show the highest correlations in June, July and November.

3.6 Comparison of correlations with meteorological parameters.

Table 6 shows the values obtained using Spearman's correlation coefficient to see the influence of the meteorological parameters in each of the two study areas, during the MSS of the two years of sampling, analysed both independently and jointly. Separately, the correlation coefficients were quite similar for the maximum and average temperature, especially during 2015, while the minimum temperature showed differences between the central area and the semi-natural area, recording non-significant values in the centre and significant but low in the Faculty.

Table 6 Spearman correlation coefficients obtained between MSS daily concentrations and meteorological factors during two years (2014-2016)

| | 2014 | 2015 | 2015 | 2016 | 2014 | 2016 |
|-----------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| | City | Faculty of | City | Faculty of | City | Faculty of |
| | centre | Pharmacy | centre | Pharmacy | centre | Pharmacy |
| Tmax | 0.337** | 0.444** | 0.338** | 0.331** | 0.333** | 0.442** |
| Tmin | 0.016 | 0.252** | 0.093 | 0.162* | 0.079 | 0.253** |
| Tmean | 0.275** | 0.425** | 0.266** | 0.281** | 0.277** | 0.413** |
| R | -0.362** | -0.305** | -0.229** | -0.179* | -0.286** | -0.345** |
| RH | -0.281** | 0.263** | -0.169* | -0.122 | -0.191** | -0.248** |
| WS | -0.222** | -0.187* | -0.227** | -0.285** | -0.230** | -0.216** |
| Wind NE | 0.314** | 0.297** | 0.233** | 0.205** | 0.256** | 0.224** |
| Wind SE | 0.023 | 0.128 | 0.188* | 0.171* | 0.086 | 0.111* |
| Wind SW | -0.349** | -0.264** | -0.181* | -0.217** | -0.227** | -0.195** |
| Wind NW | -0.007 | -0.129 | -0.039 | -0.022 | -0.007 | -0.017 |
| CF | 0.176* | 0.144 | 0.224** | 0.262** | 0.205** | 0.012 |
| Sunshine | 0.354** | 0.283** | 0.254** | 0.206** | 0.304** | 0.128* |

T_{max} maximum daily average temperature (°C), *T_{min}* minimum daily average temperature (°C), *T_{mean}* mean daily average temperature (°C), *R* total daily rainfall (mm), *RH* daily average relative humidity (%), *WS* daily average wind speed (km/h), *Wind NE* daily average frequency of North-Easterly winds (%), *Wind SE* daily average frequency of South-Easterly winds (%), *Wind SW* daily average frequency of South-Westerly winds (%), *Wind NW* daily average frequency of North-Westerly winds (%), *CF* daily average frequency of calms (%), *Sunshine* daily average sunshine (hours)

Significance levels: *95%; **99%

Rainfall and relative humidity behaved similarly in both areas, with higher values in the central zone. Wind speed did not show positive significance in either case. The winds that had a positive influence on spore concentration were the NE winds and, during 2015, the SE winds, while both the SW and NW winds resulted in a negative significance, not significant in the case of the latter. Sunshine had a positive influence on both areas and resulted in higher coefficients in the central area.

The factors that obtained a significant and positive correlation between both locations were, globally, temperatures and total daily sunshine. However, the minimum temperature did not obtain a significant value in the central area, while in the semi-natural environment it did obtain a positive and significant coefficient, although it was lower than the maximum and average temperature. Another factor that obtained a positive and significant correlation were the winds from the NE and, for the semi-natural area, also those from the SE. The factors negatively correlated with the number of spores recorded were both rainfall and relative humidity, with slightly higher coefficients in the semi-natural area. The influence of winds, on the other hand, obtained higher coefficients in the city centre.

4 Discussion

4.1 Comparison of data from both spore trap samplers

Although *Alternaria* is a genus commonly distributed throughout the world and quite abundant in the atmosphere, the quantities of spores collected in this work are far from other similar areas of the Mediterranean such as Morocco or Italy (El Haskouri et al., 2016; Marchesi, 2020) or other areas of Europe, such as Poland (Grinn Gofroń et al., 2016), where *Alternaria* concentrations usually exceed 10,000 spores per year. In Salamanca, the values obtained for both samplers remain similar to those recorded in nearby cities such as Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2009) but are higher than those obtained in other areas to the west such as Portugal (Oliveira et al., 2009b). Despite having captured a high total number of spores, the data obtained in previous works (Fuentes et al., 2019) did not show *Alternaria* as one of the most abundant spore types in the atmosphere of Salamanca. This study shows that fewer spores reach the interior of the city than can be registered in a semi-natural area. Other works that relate rural environments with urban environments obtained a higher incidence of *Alternaria* spores in rural areas, due to a more abundant presence of the necessary substrate for its development and release into the atmosphere (Calderón et al., 1997; Oliveira et al., 2010). Although there is a limitation on the number of spores reaching the city centre, either because of the buildings shielding the spore trap or because of the unfavourable environment for the spread of spores (Lin et al., 2018), the maximum values seem to coincide around the dates when the spore peaks are established. Other investigations carried out in various parts of Spain obtained similar values for the peak quantities and the days

on which they were collected. They were concentrated between June and July, the months with the highest presence of *Alternaria*, and in some cases were recorded in September and October (Recio et al., 2012; Aira et al., 2013; Maya Manzano et al., 2016).

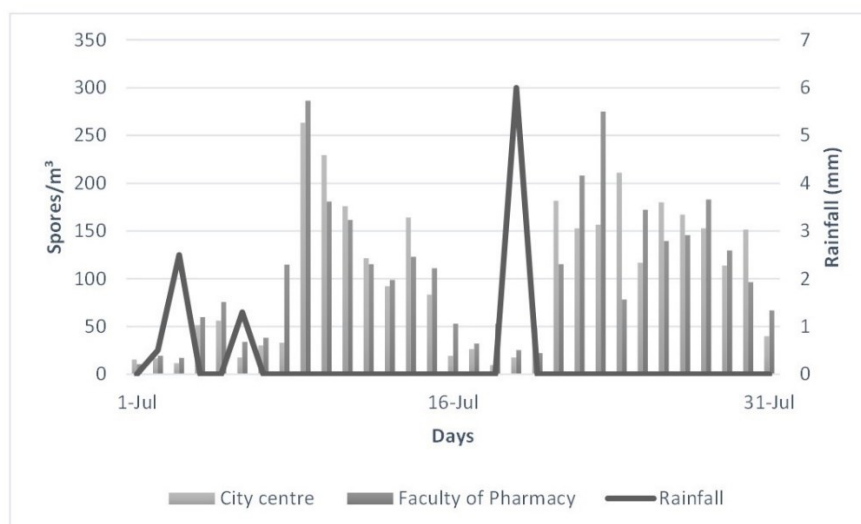
The risk levels established under Gravesen's criteria (1979) imply that the average daily value of *Alternaria* spores exceed 100 spores/m³. Even considering other classification levels such as those established by Frankland and Davies (1965), where the risk value was established for a concentration of more than 50 spores/m³, and even those proposed by Munuera Giner et al. (2001), who established a classification of five levels with respect to the abundance of *Alternaria*, the levels in Salamanca did not involve a large number of days as occurs in other areas where this spore is more abundant, such as northern Europe (Kasprzyk et al., 2015) or southern Spain (Bardei et al., 2017). The number of days with high values seems to be conditioned by the characteristics of the year since other studies obtained similar results (Sánchez Reyes et al., 2009). Thus, one month in a year may have several days where the limit of 100 spores/m³ is barely exceeded and the same month in another year may have a higher number of days with concentrations above the limit.

4.2 Main spore season (MSS) and seasonality

As *Alternaria* is a fungus with such a marked seasonal distribution since its optimum growth temperature is between 22 and 28 °C (Fernández et al., 1998), its abundance is quite limited to the warm season. However, in some countries, such as Spain, it is usually present throughout the year (Vélez Pereira et al., 2019), especially in cities with weather conditions that favour its development and release, such as Mérida (Maya Manzano et al., 2012). The lowest concentrations of *Alternaria* are recorded during the coldest months (December-February), with the MSS starting around March-April, depending on the city and weather conditions (Aira et al., 2013) and lasting until October-November. In our study, the MSS was delayed until May in the case of the semi-natural environment, and between May and June in the city centre. The situation of the spore trap of the Faculty likely influences the number of spores collected, which causes an advance at the beginning of the MSS, as it is surrounded by natural environments where *Alternaria* can develop more easily than in the centre of the city (Olsen et al., 2009a). Nevertheless, the work of Fernández Rodríguez et al. (2015) obtained a similar MSS to that of our study, with a similar duration concerning the days of the period and similar peak values, but temporarily located in October, in two of the three years analysed by them. This pattern is also repeated in other northern European countries, like Poland (Rapiejko et al., 2017), where the MSS from six different cities was analysed. In that study, the start of the MSS took place between May and June and the peak day occurred in July in all cases.

Our study's seasonal distribution coincides with the values obtained by researchers from other parts of Spain, both in areas close to Salamanca (Sánchez Reyes et al., 2016) and in more Mediterranean areas (Elvira Rendueles et al., 2019). In these cases, the results obtained by the researchers coincide with the seasonality observed, with the maximum levels of *Alternaria* distributed between June and July, and reaching, in some cases, September and October. Likewise, in countries of the Mediterranean region such as Turkey (Aydogdu and Asan, 2008) or Greece (Pyri and Kapsanaki Gotsi, 2015), the period of maximum amount of spores collected is also grouped around June, July and August; in some cases, it is displaced until September, with peaks in October (Kasprzyk and Worek, 2006). The decrease observed in July 2014 (fig. 4) affecting the two locations seems to be caused by the presence of rain during this month, which could have a sweeping effect on these biological particles in the atmosphere (Magyar et al., 2009; Artaç et al., 2014).

Figure 4 Daily rainfall (mm) and daily atmospheric spore levels (spores/m³) in both spore traps during July 2014



4.3 Comparison of intradiurnal values

Alternaria's intraday behaviour showed similar results in one area and the other, with slight differences during 2015. The results obtained for Salamanca are similar to those obtained in nearby areas such as Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2009) and other countries such as Pakistan (Khan et al., 2016). These works coincide in the points where *Alternaria* starts to increase from its minimum values around 8h, increasing its concentration gradually until 12-14h. In Valladolid, the second increase of spores occurs from 18h and remains until 24-1h when it decreases again. In our research, however, the increase takes place four hours later, from 22-24h, which is similar to the observed in Pakistan. In 2015, the city centre sampler obtained differences both in spore concentration and in distribution hours, since the first peak was shortened from 8 to 12h and the

second was reached from 16 to 20h and decreased at that point, while in the periphery the behaviour was similar to that obtained for the previous year. This behaviour has been reported in northern cities such as Worcester (England) (O'Connor et al., 2014) or Cracow (Poland) (Stępańska and Wołek, 2009). In those cities there is a decrease in the concentration of *Alternaria* spores from 20 to 24h (Cracow), and there is also a peak around 4h or even from 16h (Worcester). The results obtained in another study conducted in southwestern Spain (Fernández Rodríguez et al., 2015) agree with those obtained in our study. An increase is observed from 7h to 12h, at which time the concentration of *Alternaria* spores begins to decrease. This is due to the fact that spore release into the atmosphere occurs at the highest temperatures, which is associated with vertical wind speed and spore-moving turbulence (Savage et al., 2012).

4.4 Correlations between both spore traps

There are not many papers in the literature that deal with the comparison of spore values using Spearman's correlation coefficient. However, this coefficient has been used in comparative studies, mainly of pollen and meteorological factors, but also comparing data series obtained by different samplers (Sánchez Mesa et al., 2005; Gharbi et al., 2017). Similar studies for pollen were conducted in Salamanca using these same two sampler locations (Rodríguez de la Cruz et al., 2016; Fuentes et al., 2020), where highly significant correlations were obtained for most of the pollen types studied in different periods (2007, 2014-2016).

The results of this study show very similar values between both stations regardless of the location of the sampler. The days with the highest abundance of spores in the atmosphere seem to correlate, although in one area the number is higher than in the other. A similar study by Kasprzyk and Worek (2006) obtained similar results where *Alternaria* showed the highest correlation coefficient when compared to other spore types between two sampling areas. Although rural areas present a higher number of spores (Lin et al., 2018), *Alternaria* shows highly positive and significant correlation coefficients especially when analysing the monthly results for the set of years. If the months are analysed independently, it can be seen that during the period of development and greater abundance of this spore, the quantities collected in both areas of the city are similar, especially in 2014 during June, July and August. The high values in September also coincide with similar research results in other Mediterranean areas (Marchesi, 2020). In contrast, the lowest and even non-significant values occur during the winter months, probably due on the one hand to the lack of data during February 2014 and 2016 and on the other hand due to the scarcity of *Alternaria* spores at this time (Oliveira et al., 2009a). The few spores that arrive at this time may be collected by the spore trap from the semi-natural environment while the few spores present in the air barely reach the city centre, possibly due to the distribution of buildings that modify the airflow (Janhäll, 2015), which causes insignificant or negative values.

4.5 Correlations to meteorological parameters

The statistical results when assessing the relationship between *Alternaria* spore concentrations and the main meteorological parameters in our study coincide with the majority of works carried out throughout the world, regardless of whether the location is in Europe (Almeida et al., 2018) or in other countries such as Australia (Stennett and Beggs, 2004). *Alternaria* belongs to the so-called dry spore types, which means that its concentration in the atmosphere increases with low levels of relative humidity and high temperatures (Olsen et al., 2019b). Because of this hot-season distribution, studies are beginning to focus on the analysis of these spore types during the summer (O'Connor et al., 2014). Our results are mainly in line with those of other areas of the Mediterranean (Pyrrri and Kapsanaki Gotsi, 2017), where temperatures have a significant influence on the presence of *Alternaria* in the atmosphere. Although the minimum temperature did not obtain significant results in the city centre, the sunshine achieved a higher value. Similarly, in other studies the correlations with the minimum temperature showed different values of significance, according to the characteristics of the year (Sidel et al., 2015). The parameters that tend to be negatively correlated, rainfall and relative humidity, coincide in most of the research carried out, and a highly significant or non-significant negative trend is observed depending on the city under study (Oliveira et al., 2009b; Kasprzyk et al., 2015). As explained in previous research, rain negatively affects the release of spores into the atmosphere (Hirst and Stedman, 1963; Peternel et al., 2004). However, situations have been reported in which, after abundant rainfall, the release of conidia is favoured (Pérez Gorjón et al., 2003; Sánchez Reyes et al., 2009), a trend that has been confirmed in this study when the maximum peak was recorded on 17 June 2015 in the collector of the Faculty after abundant rainfall during the first 15 days of the month. The winds that had the most significant influence on *Alternaria*'s presence in the two areas of the city were northeast winds and, to a lesser extent, southeast winds in 2015. This relationship could be given by the situation of abundant crops in the area of Valladolid located NE of Salamanca (Fuentes et al., 2019), while the presence of *Alternaria* linked to southeasterly winds could be related to a greater abundance of host plants of the fungus in areas of central Spain (Sabariago et al., 2012).

5 Conclusion

The seasonal behaviour of *Alternaria* spores did not show significant differences between the two sampling areas except in the amount recorded, as they were more abundant in the semi-natural environment. The weather and the vegetation surrounding this area can influence the number of spores that reach the trap, collecting a higher amount of spores from nearby agricultural land. The city centre sampler seems to be better protected from the winds by buildings that act as artificial screens.

There does not seem to be a notable difference in the time distribution in the two study areas, except that there was a more uniform distribution throughout the day in the city centre, whereas the periphery showed more pronounced increases and decreases. However, everything points to the fact that time distribution is subject to changes from year to year.

Regarding the correlations established between the number of spores obtained in both locations, no differences can be pointed out, since the coefficients obtained show high similarity in the results. Even concerning the days that presented risk levels, the differences between the two zones were not significant, as they showed several days with the same or similar risk concentrations, on almost the same dates.

About the possible influence of meteorological factors, a similar trend is observed, with higher values in the semi-natural environment; this is probably due to greater exposure, while in the central area, the spore trap is more protected. The factors positively correlated with the number of spores collected were temperature and sunshine, while those negatively related were rainfall and relative humidity. The presence of winds obtained different results, with a positive correlation for the NE winds.

References

- Aira, M. J., Rodríguez Rajo, F. J., Fernández González, M., Seijo, C., Elvira Rendueles, B., Abreu, I., Gutiérrez Bustillo, M., Pérez Sánchez, E., Oliveira, M., Recio, M., Tormo, R. & Morales, J. (2013). Spatial and temporal distribution of *Alternaria* spores in the Iberian Peninsula atmosphere, and meteorological relationships: 1993-2009. *International Journal of Biometeorology*, 57, 265-274.
- Aira, M.J., La Serna, I. & Dopazo, A. (2003). Identification of fungal spores in the atmosphere of Santiago de Compostela (NW Spain) in the winter period. *Polen*, 12, 65-76.
- Almeida, E., Caeiro, E., Todo Bom, A., Ferro, R., Dionísio, A., Duarte, A. & Gazarini, L. (2018). The influence of meteorological parameters on *Alternaria* and *Cladosporium* fungal spore concentrations in Beja (southern Portugal): preliminary results. *Aerobiologia*, 34, 219-226.
- Armentia, A., Martín Armentia, S., Moral, A., Montejo, D., Martín Armentia, B., Sastre, R., Fernández, S., Corell, A. & Fernández D. (2019). Molecular study of hypersensitivity to spores in adults and children from Castile & Leon. *Allergologia et Immunopathologia*, 47, 350-356.
- Artaç, H., Kizilpınar Temizer, I., Özdemir, H., Pekcan, S., Doğan, C. & Reislı, I. (2014). *Alternaria* and *Cladosporium* spores in the atmosphere of Konya and their relationship with meteorological factors. *Asthma Allergy Immunology*, 12, 130-139.

- Aydogdu, H. & Asan, A. (2008). Airborne fungi in child day care centers in Edirne City, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147, 423-444.
- Bardei, F., Bouziane, H., Trigo, M.M., Ajouray, N., El Haskouri, F. & Kadiri, M. (2017). Atmospheric concentrations and intradiurnal pattern of *Alternaria* and *Cladosporium* conidia in Tétouan (NW of Morocco). *Aerobiologia* 33, 221-228.
- Bessadat, N., Berruyer, R., Hamon, B., Bataille Simoneau, N., Benichou. S., Kihal, M., Henni, D. E. & Simoneau, P. (2017). *Alternaria* species associated with early blight epidemics on tomato and other *Solanaceae* crops in northwestern Algeria. *European Journal of Plant Pathology*, 148, 181-197.
- Calderón, C., Lacey, J., McCartney, A. & Rosas, I. (1997). Influence of urban climate upon distribution of airborne Deuteromycete spore concentrations in Mexico City. *International Journal of Biometeorology*, 40, 71-80.
- Caretta, G. (1992). Epidemiology of allergy disease: the fungi. *Aerobiologia*, 8, 439-445.
- Deamer, W. C. & Graham, H. W. (1947). Respiratory mold allergy-A 12 month's atmospheric survey in San Francisco. *California Medicine*, 66, 289-292.
- El Haskouri, F., Bouziane, H., Trigo, M. M., Kadiri, M. & Kazzaz, M. (2016). Airborne ascospores in Tetouan (NW Morocco) and meteorological parameters. *Aerobiologia*, 32, 669-681.
- Elvira Rendueles, B., Moreno, J. M., Costa, I., Bañon, D., Martínez García, M. J. & Moreno Grau, S. (2019). Pollen calendars of Cartagena, Lorca and Murcia (Region of Murcia), southeastern Iberian Peninsula: 2010-2017. *Aerobiologia*, 35, 477-496.
- Erkara, I. P., Asan, A., Yilmaz, V., Pehlivan, S. & Okten, S. S. (2008). Airborne *Alternaria* and *Cladosporium* species and relationship with meteorological conditions in Eskisehir City, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 31-41.
- Erkara, I.P., Ilhan, S. & Oner, S. (2009). Monitoring and assessment of airborne *Cladosporium* Link and *Alternaria* Nées spores in Sivrihisar (Eskisehir), Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148, 477-484.
- Escuredo, O., Seijo Rodríguez, A., Meno, L., Rodríguez Flores, M. S. & Seijo, M. C. (2019). Seasonal dynamics of *Alternaria* during the potato growing cycle and the influence of weather on the early blight disease in North-West Spain. *American Journal of Potato Research*, 96, 532-540.
- Fernández Rodríguez, R., Maya Manzano, J. M., Silva Palacios, I. & Gonzalo Garijo, Á. (2014). Outdoor airborne fungi captured by viable and non-viable methods. *Fungal Ecology*, 7, 16-26.

- Fernández Rodríguez, S., Sadyś, M., Smith, M., Tormo Molina, R., Skjøth, C. A., Maya Manzano, J. M., Silva Palacios, I. & Gonzalo Garijo, Á. (2015). Potential sources of airborne *Alternaria* spp. spores in South-West Spain. *Science of the Total Environment*, 533, 165-176.
- Fernández, D., Valencia, R.M., Molnár, T., Vega, A. & Sagüés, E. (1998). Daily and seasonal variations of *Alternaria* and *Cladosporium* airborne spores in León (North-West, Spain). *Aerobiologia*, 14, 215–220.
- Frankland, A. W. & Davies, R. R. (1965). Allergic aux spores de moisissures en Angleterre. *Le Poumon et le Coeur*, 21, 11-23.
- Fuentes, S., Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez, J. & Sánchez, E. (2019). Analysis of the airborne fungal spores present in the atmosphere of Salamanca (MW Spain): a preliminary survey. *Aerobiologia*, 35, 447-462.
- Fuentes Antón, S., Rodríguez de la Cruz, D., García Sánchez, A., Dávila, I., Sánchez Sánchez, J. & Sánchez Reyes, E. (2020). Urban atmospheric levels of allergenic pollen: comparison of two locations in Salamanca, central-western Spain. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 414. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08375-2>.
- Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernandez González, D., Frenguelli, G., Gehrig, R., Isard, S., Levetin, E., Li, D. W., Mandrioli, P., Rogers, C. A., Thibaudon, M., Sauliene, I., Skjøth, C., Smith, M. & Sofiev, M. (2017). Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, 33, 293–295.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2007). *Spanish aerobiology network (REA: Management and quality manual*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba 2007. www.uco.es/rea/infor_rea/manual_eng.pdf.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., Berger, U., Clot, B., Brandao, R. & EAS QC Working Group (2014). Pollen monitoring: Minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*, 30, 385–395.
- Gharbi, D., Brighetti, M. A., Travaglini, A. & Trigo, M. M. (2017). Comparison between the counting methods used by two aerobiology networks in southern Europe (Spain and Italy). *Aerobiologia*, 33, 87-92.
- González Parrado, Z., Fuertes Rodríguez, C. R., De Castro Alfageme, S., Vega Maray, A. M., Fernández González, D. & Valencia Barrera, R. M. (2009). Análisis de esporas fúngicas alergénicas en la atmósfera de León, Miranda de Ebro y Zamora (España). *Polen*, 19, 31-47.
- Gravesen, S. (1979). Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy*, 34, 135-154.

- Grewling, Ł., Nowak, M., Szymańska, A., Kostecki, Ł. & Bogawski, P. (2019). Temporal variability in the allergenicity of airborne *Alternaria* spores. *Medical Mycology*, 57, 403-411.
- Grinn Gofroń, A., Strzelczak, A., Stępalska, D. & Myszkowska, D. (2016). A 10-year study of *Alternaria* and *Cladosporium* in two Polish cities (Szczecin and Cracow) and relationship with the meteorological parameters. *Aerobiologia*, 32, 83-94.
- Herrero, B., Fombella, M. A., Fernández González, D. & Valencia, R. M. (1996). Aerobiological study of fungal spores from Palencia (Spain). *Aerobiologia*, 12, 27–35.
- Hirst, J. M. & Stedman, O. J. (1963). Dry liberation of fungus spores by raindrops. *Microbiology*, 33, 335-344.
- Hirst, J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39, 257–265.
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and article air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130-137.
- Kasprzyk, I., Rodinkova, V., Šaulienė, I., Ritenberga, O., Grinn Gofroń, A., Nowak, M., Sulborska, A., Kaczmarek, J., Weryszko Chmielewska, E., Bilous, E., Jedryczka, M., 2015. Air pollution by allergenic spores of the genus *Alternaria* in the air of central and eastern Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 9260-9274.
- Kasprzyk, I. & Worek, M. (2006). Airborne fungal spores in urban and rural environments in Poland. *Aerobiologia*, 22, 169-176.
- Khan, M., Perveen, A. & Qaiser, M. (2016). Seasonal and diurnal variation of atmospheric fungal spore concentrations in Hyderabad; Tandojam-Sindh and the effects of climatic conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 48, 1657-1663.
- Lee, E., Lee, S. H., Kim, Y. H., Cho, H. J., Yoon, J., Yang, S. I., Jung, Y. H., Kim, H. Y., Seo, J. H., Kwon, J. W., Kim, H. B., Lee, S. Y., Kwon, H. J. & Hong, S. J. (2017). Association of atopy phenotypes with new development of asthma and bronchial hyperresponsiveness in school-aged children. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 118, 542-550.
- Lin, W. R., Wang, P. H., Tien, C. J., Chen, W. Y., Yu, Y. A. & Hsu, L. Y. (2018). Changes in airborne fungal flora along an urban to rural gradient. *Journal of Aerosol Science*, 116, 116-123.
- Magyar, D., Frenguelli, G., Bricchi, E., Tedeschini, E., Csontos, P., Li, D. W. & Bobvos, J. (2009). The biodiversity of air spora in an Italian vineyard. *Aerobiologia*, 25, 99-109.
- Marchesi, S. (2020). *Alternaria* spores in Emilia-Romagna, northern Italy: current diffusion and trends. *Aerobiologia*, 36, 31-36.

- Maya Manzano, J M., Fernández Rodríguez, S., Hernández Trejo, F., Díaz Pérez, G., Gonzalo Garijo, A., Silva Palacios, I., Muñoz Rodríguez, A. F. & Tormo Molina, R. (2012). Seasonal Mediterranean pattern for airborne spores of *Alternaria*. *Aerobiologia*, 28, 515-525.
- Maya Manzano, J. M., Muñoz Triviño, M., Fernández Rodríguez, S., Silva Palacios, I., Gonzalo Garijo, A. & Tormo Molina, R. (2016). Airborne *Alternaria* conidia in Mediterranean rural environments in SW of Iberian Peninsula and weather parameters that influence their seasonality in relation to climate change. *Aerobiologia*, 32, 95-108.
- Munuera Giner, M., Carrión García J. S. & Navarro Camacho, C. (2001). Airborne *Alternaria* spores in SE Spain (1993-98). *Grana*, 40, 111-118.
- Nilsson, S. & Persson, S. (1981). Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden) 1973–1980. *Grana*, 20, 179-182.
- O' Connor, D. J., Sadyś, M., Skjøth, C. A., Healy, D. A., Kennedy, R. & Sodeau, J. R. (2014). Atmospheric concentrations of *Alternaria*, *Cladosporium*, *Ganoderma* and *Didymella* spores monitored in Cork (Ireland) and Worcester (England) during the summer of 2010. *Aerobiologia*, 30, 397-411.
- O'Gorman, C. M. & Fuller, H. T. (2008). Prevalence of culturable airborne spores of selected allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. *Atmospheric Environment*, 42, 4355–4368.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L., Abreu, I. (2009a). Seasonal and intradiurnal variation of allergenic fungal spores in urban and rural areas of the North of Portugal. *Aerobiologia*, 25, 85-98.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L. & Abreu, I. (2009b). The effects of meteorological factors on airborne fungal spore concentration in two areas differing in urbanisation level. *Int. J. Biometeorol.* 53, 61-73.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, L., Fonseca, J., Castel Branco, M. G. & Abreu, I. (2010). Outdoor allergenic fungal spores: comparison between an urban and a rural area in northern Portugal. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 20, 117-128.
- Olsen, Y., Gosewinkel, U. B., Skjøth, C. A., Hertel, O., Rasmussen, K. & Sigsgaard, T. (2019a). Regional variation in airborne *Alternaria* spore concentrations in Denmark through 2012-2015 seasons: the influence of meteorology and grain harvesting. *Aerobiologia*, 35, 533-551.
- Olsen, Y., Skjøth, C. A., Hertel, O., Rasmussen, K., Sigsgaard, T. & Gosewinkel, U. (2019b). Airborne *Cladosporium* and *Alternaria* spore concentrations through 26 years in Copenhagen, Denmark. *Aerobiologia*, 36, 141-157.

- Patel, T. Y., Buttner, M., Rivas, D., Cross, C., Bazylinski, D. A. & Seggev, J. (2018). Variation in airborne fungal spore concentrations among five monitoring locations in a desert urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 634.
- Pérez Gorjón, S., Rodríguez de la Cruz, D., González Suárez, R. & Sánchez Sánchez, J. (2003). Variación anual de esporas en atmósfera de Salamanca durante los años 1995 y 2000. *Polen*, 13, 289-297.
- Peternel, R., Čulig, J. & Hrga, I. (2004). Atmospheric concentrations of *Cladosporium* spp. and *Alternaria* spp. spores in Zagreb (Croatia) and effects of some meteorological factors. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11, 303-307.
- Pyrri, I. & Kapsanaki Gotsi, E. (2015). Evaluation of the fungal aerosol in Athens, Greece, based on spore analysis. *Aerobiologia*, 31, 179-190.
- Pyrri, I. & Kapsanaki Gotsi, E. (2017). Functional relations of airborne fungi to meteorological and pollution factors in a Mediterranean urban environment. *Fungal Ecology*, 30, 48-54.
- Rapiejko, P., Lipiec, A., Malkiewicz, M., Chlopek, K., Dąbrowska Zapart, K., Ziemianin, M., Rapiejko, A. & Jurkiewicz, D. (2017). *Alternaria* spores in the air of southern Poland cities in 2016. *Allergoprofil*, 13, 36-39.
- Recio, M., Trigo, M. M., Docampo, S., García Sánchez, J., Bootello, L. & Cabezudo, B. (2012). Analysis of the predicting variables for daily and weekly fluctuations of two airborne fungal spores: *Alternaria* and *Cladosporium*. *International Journal of Biometeorology*, 56, 983-991.
- Rodríguez de la Cruz, D., Dávila, I., Sánchez, E., Lorente, F. & Sánchez, J. (2016). Comparison of pollen levels between 2 pollen traps in Salamanca, Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 26, 111-143.
- Sabariago, S., Bouso, V. & Pérez Badía, R. (2012). Comparative study of airborne *Alternaria* conidia levels in two cities in Castilla-La Mancha (central Spain), and correlations with weather-related variables. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2, 227-232.
- Sabariago, S., Díaz de la Guardia, C. & Alba, F. (2000). The effect of meteorological factor son the daily variation of airborne fungal spores in Granada (southern Spain). *International Journal of Biometeorology*, 44, 1-5.
- Sánchez Mesa, J.A., Brandao, R., Lopes, L. & Galán, 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, 112-116.

- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Sánchez, J. (2016). First fungal spore calendar of the Middle-West of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 32, 529-539.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, M. E. & Sánchez, J. (2009). Meteorological and agricultural effects on airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores and clinical aspects in Valladolid (Spain). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16, 53-61.
- Savage, D., Barbetti, M. J., MacLeod, W. J., Salam, M. U. & Renton, M. (2012). Seasonal and diurnal patterns of spore release can significantly affect the proportion of spores expected to undergo long distance dispersal. *Microbial Ecology*, 63, 578-585.
- Ščevková, J. & Kováč, J. (2019). First fungal spore calendar for the atmosphere of Bratislava, Slovakia. *Aerobiologia*, 35, 343-356.
- Sidel, F. F. B., Bouziane, H., Trigo, M. M., El Haskouri, F., Bardei, F., Redouane, A., Kadiri, M., Riadi, H. & Kazzaz, M. (2015). Airborne fungal spores of *Alternaria*, meteorological parameters and predicting variables. *International Journal of Biometeorology*, 59, 339-346.
- Skjøth, C. A., Damialis, A., Belmonte, J., De Linares, C., Fernández Rodríguez, S., Grinn Gofroń, A., Jędrzycka, M., Kasprzyk, I., Magyar, D., Myszkowska, D., Oliver, G., Páldy, A., Pashley, C. H., Rasmussen, K., Satchwell, J., Thibaudon, M., Tormo Molina, R., Vokou, D., Ziemianin, M. & Werner, M. (2016). *Alternaria* spores in the air across Europe: abundance, seasonality and relationships with climate, meteorology and local environment. *Aerobiologia*, 32, 3-22.
- Stennett, P. J. & Beggs, P. J. (2004). *Alternaria* spores in the atmosphere of Sydney, Australia, and relationships with meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 49, 98-105.
- Stępalska, D. & Wołek, J. (2009). Intradial periodicity of fungal spore concentrations (*Alternaria*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Didymella*, *Ganoderma*) in Cracow, Poland. *Aerobiologia*, 25, 333-340.
- Stetzenbach, L. D. & Krauter, P. (2016). Introduction to aerobiology. In M. V. Yates, C.H. Nakatsu, R. V. Miller & S. D. Pillai (Eds), *Manual of environmental microbiology*, Washington DC: ASM Press Chp. 3.2.1.
- Vélez Pereira, A. M., De Linares, C., Canela, M. A. & Belmonte J. (2019). Logistic regression models for predicting daily airborne *Alternaria* and *Cladosporium* concentration levels in Catalonia (NE Spain). *International Journal of Biometeorology*, 63, 1541-1553.

GRANOS DE POLEN
DE LA ATMÓSFERA
DE SALAMANCA

*Estudio del espectro
polínico durante los
años 2014-2016*

ANÁLISIS GENERAL DEL TOTAL POLÍNICO REGISTRADO DURANTE EL PERIODO 2014-2016

Al finalizar el análisis cualitativo de las muestras aerobiológicas obtenidas tras los dos años de muestreo, pudieron identificarse 47 tipos de polen diferentes, los cuales se listan a continuación por orden alfabético:

Acacia, Acer, Ailanthus, Alnus, Amaranthaceae, Ambrosia, Apiaceae (=Umbeliferae), Artemisia, Asteraceae (=Compositae), Betula, Cannabis, Caryophyllaceae, Castanea, Cedrus, Corylus, Cupressaceae, Cyperaceae, Echium, Ericaceae, Fabaceae, Fraxinus, Helianthus, Juncaceae, Juglans, Liguliflora, Ligustrum, Myrtaceae, Olea, Papaveraceae, Pinus, Plantago, Platanus, Poaceae, Populus, Quercus, Rhamnaceae, Robinia, Rosaceae, Rubiaceae, Rumex, Salix, Sambucus, Thymelaceae, Tilia, Typha, Ulmus y *Urticaceae*.

La denominación de los tipos de polen contemplados, se apoya en base a las categorías establecidas por la REA, disponibles para su consulta en su página web, así como en el manual de calidad y gestión de dicha red.

Atendiendo al estudio de la variación estacional, observamos como los meses primaverales son los que mayor aporte polínico registran (fig. 3.24), con el mes de mayo a la cabeza con concentraciones muy similares en ambos periodos (14665 granos de polen/m³, en 2014-2015 y 14439 granos de polen/m³, en 2015-2016), como se resume en la tabla 3.35.

Tabla 3. 35. Concentraciones mensuales totales del total de granos capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|------|------|------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| 2014/2015 | 616 | 3728 | 7491 | 14665 | 2467 | 728 | 879 | 718 | 881 | 803 | 336 | 516 | 34310 |
| 2015/2016 | 1572 | 5658 | 4755 | 14439 | 5147 | 1841 | 836 | 528 | 364 | 393 | 469 | 1398 | 37816 |

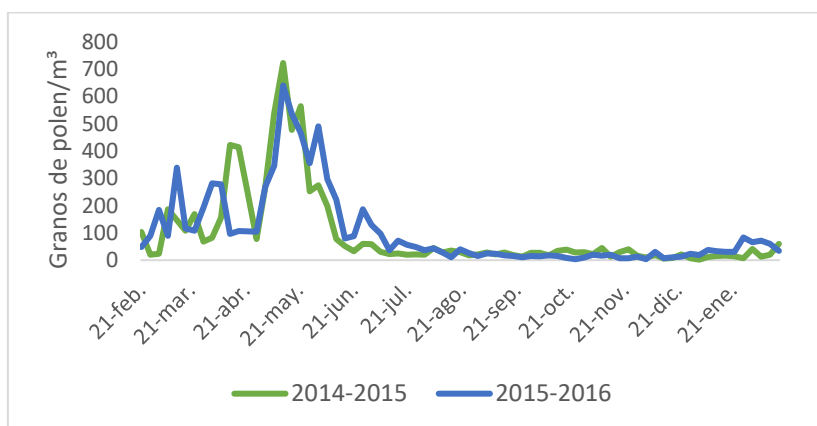


Figura 3. 24. Comportamiento estacional de los granos totales detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El invierno por su parte mostró unas concentraciones menores, a excepción de enero de 2016, el cual se hizo con un conjunto de granos de polen de 1398 granos/m³, abundante para esta época. Destacar que durante el periodo 2015-2016, las concentraciones fueron alternándose con 2014-2015, respecto a los meses de mayor abundancia, siendo abril y mayo de 2014 superiores junto con el periodo otoñal, mientras que los meses de junio, julio y el periodo invernal, los meses con concentraciones más abundantes durante 2015-2016.

Respecto al periodo de polinización principal (tabla 3.36), podemos ver como el inicio del mismo se sucede en fechas casi idénticas en marzo (día 9 en 2014 y día 7 durante 2015), mientras que el final resultó ser más duradero en el segundo periodo de estudio, al alargarse hasta el 12 de enero. El índice polínico estacional fue de 30879 granos de polen/m³, durante 2014-2015, mientras que el periodo siguiente obtuvo un índice de 34034 granos de polen/m³. Pese a esta diferencia en la duración, el pico de máximas concentraciones se situó en el mes de mayo en ambas anualidades con unos valores muy cercanos (1134 granos de polen/m³, el 8 de mayo de 2014 y 1113 granos de polen/m³, el 13 de mayo de 2015).

Tabla 3. 36. Análisis del periodo principal de polinización de los granos totales registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 30879 | 9-mar | 15-nov | 252 | 8-may | 1134 |
| 2015-2016 | 34034 | 7-mar | 12-ene | 312 | 13-may | 1113 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón intradiario del conjunto total de granos de polen (fig. 3.25), obtuvo una distribución cuyo incremento se sucede en las horas centrales del día siendo a las 14 horas el momento en el que se alcanza la concentración máxima en torno al 5%.

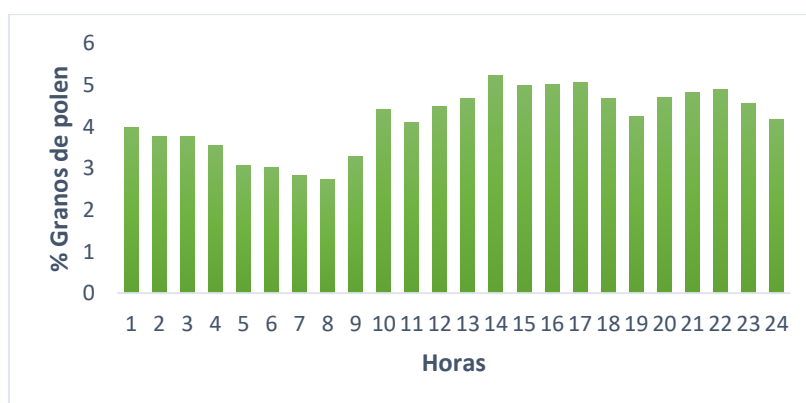


Figura 3. 25. Variación intradiaria de los granos totales detectados en el periodo de estudio.

La insolación (tabla 3.37), mostró un signo positivo, siendo inverso al signo del coeficiente obtenido para la humedad relativa. La temperatura máxima, temperatura media y la velocidad del viento junto a los vientos del NO obtuvieron coeficientes positivos aunque de bajo valor y las precipitaciones con signo negativo, también con bajo valor.

Tabla 3. 37. Coeficientes de correlación de Spearman los granos totales y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.145** |
| Tmin | 0.022 |
| Tmed | 0.100* |
| Prec | -0.137** |
| HR | -0.351** |
| Vel viento | 0.185** |
| Viento NE | 0.058 |
| Viento SE | -0.090* |
| Viento SO | -0.050 |
| Viento NO | 0.125** |
| Frec calmas | -0.180** |
| Insolación | 0.362** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

PORCENTAJE DE REPRESENTACION MEDIO SUPERIOR AL 0,5%

En este apartado se incluyen: *Acer*, *Alnus*, *Amaranthaceae*, *Cupressaceae*, *Ericaceae*, *Fraxinus*, *Olea*, *Papaveraceae*, *Pinus*, *Plantago*, *Platanus*, *Poaceae*, *Populus*, *Quercus*, *Rumex*, *Salix* y *Urticaceae*.

Acer

Durante el primer periodo de estudio 2014-2015, el índice polínico anual fue de tan solo 14 granos de polen/m³, comparado con los 365 granos de polen/m³, obtenidos durante el periodo 2015-2016 (tabla 3.38). A pesar de que se recogieron granos de polen desde marzo a junio en ambos periodos (fig. 3.26), las máximas concentraciones se detectaron en abril de 2014 con 4 granos de polen/m³, incrementándose hasta 205 granos de polen/m³, en mayo de 2015. Los mínimos estuvieron repartidos a lo largo de los meses en los que apenas se contabilizaron granos de polen o hubo ausencia de los mismos.

Tabla 3. 38. Concentraciones mensuales totales de granos de *Acer* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|----|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | 2 | 4 | 3 | 3 | - | - | - | - | - | - | 2 | 14 |
| 2015/2016 | - | 67 | 62 | 205 | 24 | - | - | - | 2 | - | 4 | 1 | 365 |

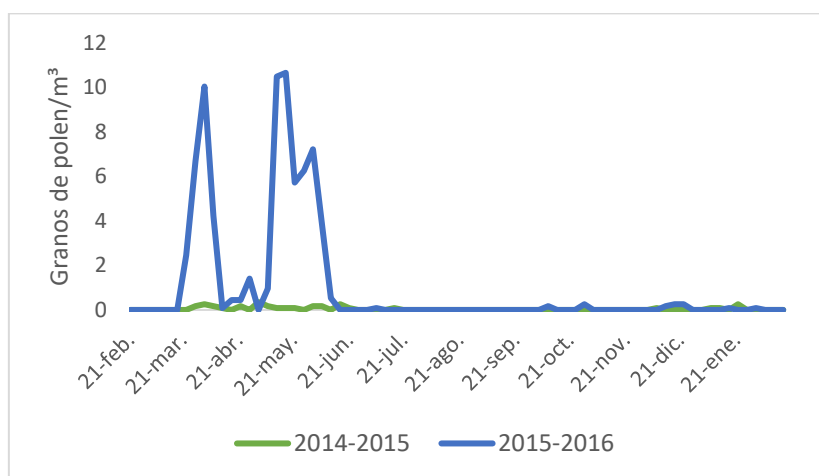


Figura 3. 26. Comportamiento estacional de granos de *Acer* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El inicio del PPP fue muy similar en fechas ocurriendo en ambos periodos en marzo (el día 27 en 2014 y el 25 en 2015) (tabla 3.39). El fin del periodo, sin embargo, estuvo más alejado en 2014 llegando al 4 de diciembre, mientras que durante 2015 ocurrió el 3 de julio. Además de la marcada diferencia en el número total de granos capturados durante el primer periodo, siendo 12 granos de polen/m³ y 328 granos de polen/m³, durante 2015-2016. Las fechas de los días pico estuvieron separadas por casi un mes, con valores pico también diferentes (2 granos de polen, el 29 de abril de 2014 y 19 granos de polen/m³, el 25 de marzo de 2015).

Tabla 3. 39. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Acer* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 12 | 27-mar | 4-dic | 253 | 29-abr | 2 |
| 2015-2016 | 328 | 25-mar | 3-jul | 101 | 25-mar | 19 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Respecto al patrón intradiario (fig. 3.27) se pueden apreciar pequeñas oscilaciones de aumentos y descensos a lo largo del periodo de 24 horas, estando más marcado un aumento en las concentraciones entre las 08-16h, momento en el que se alcanza la concentración máxima (por encima del 6%), que desciende a las 18h por debajo del 4%, volviendo a ascender y manteniéndose en valores en torno al 5% hasta las 23h, momento en el que las concentraciones disminuyen. Se observa un pequeño aumento entre las 01-03h volviendo a disminuir las concentraciones manteniéndose en valores rondando el 2% hasta las 9h.

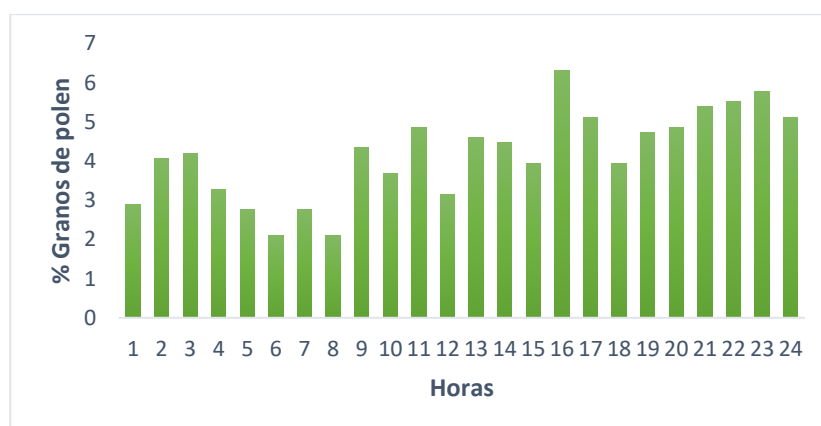


Figura 3. 27. Variación intradiaria de los granos de *Acer* detectados en el periodo de estudio.

En cuanto a la correlación con parámetros meteorológicos (tabla 3.40), la mayoría obtuvieron correlaciones de signo negativo durante el PPP, mientras que tanto la velocidad del viento como el viento del NE obtuvieron coeficientes positivos y significativos. De igual modo, la insolación obtuvo valores correlacionados positivamente.

Tabla 3. 40. Coeficientes de correlación de Spearman para *Acer* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.033 |
| Tmin | -0.196** |
| Tmed | -0.114* |
| Prec | -0.128* |
| HR | -0.279** |
| Vel viento | 0.177** |
| Viento NE | 0.147** |
| Viento SE | 0.049 |
| Viento SO | -0.157** |
| Viento NO | -0.126 |
| Frec calmas | -0.151** |
| Insolación | 0.168** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Alnus

La mayoría de granos de polen de *Alnus* se recogieron entre enero y febrero de cada uno de los periodos de estudio (fig. 3.28), siendo febrero el mes con las concentraciones más elevadas, con 117 granos de polen/m³, en 2014 (tabla 3.41) y enero de 2016 con 370 granos de polen/m³. Los mínimos estuvieron recogidos durante los meses de abril, agosto y octubre de 2014 con 1 grano de polen mientras que fue mayo y noviembre de 2015 los que obtuvieron el mínimo con la misma concentración. El índice polínico anual fue de 892 granos de polen/m³, durante 2015-2016 respecto a los 490 granos de polen/m³, del periodo 2014-2015.

Tabla 3. 41. Concentraciones mensuales totales de granos de *Alnus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|-----|
| 2014/2015 | 117 | 34 | 1 | - | - | - | 1 | - | 1 | - | 2 | 139 | 490 |
| 2015/2016 | 350 | 128 | 3 | 1 | - | 2 | 2 | 2 | - | 1 | 32 | 370 | 892 |

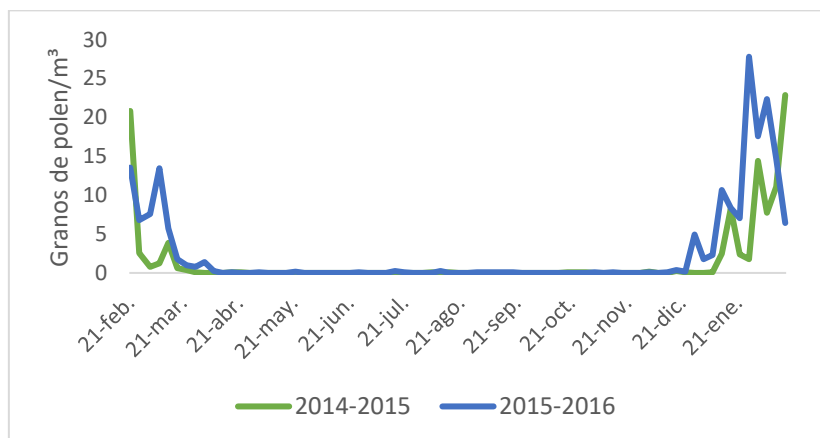


Figura 3. 28. Comportamiento estacional de granos de *Alnus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Para este tipo de polen únicamente se calcularon los días pico y sus concentraciones (tabla 3.42). Estos fueron dispares en fechas (18 de febrero de 2014 y 24 de enero de 2016), pero no tanto en concentraciones (55 granos de polen/m³, en 2014 y 66 granos de polen/m³, en 2016).

Tabla 3. 42. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Alnus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|-----|--------------------|----------|--------------|
| 2014-2015 | - | - | - | - | 18-feb | 55 |
| 2015-2016 | - | - | - | - | 24-ene | 66 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón de distribución intradiario (fig. 3.29) mostró incrementos paulatinos de las concentraciones a lo largo del día con el más marcado situado a las 23 horas, registrando un valor del 7%, y otro seguido a las 01 horas por encima del 5%. De manera más suave se produjo un incremento en las concentraciones entre las 12 y las 15 horas manteniéndose en valores en torno al 4% hasta alcanzar un valor superior al 5% nuevamente, a las 20h.

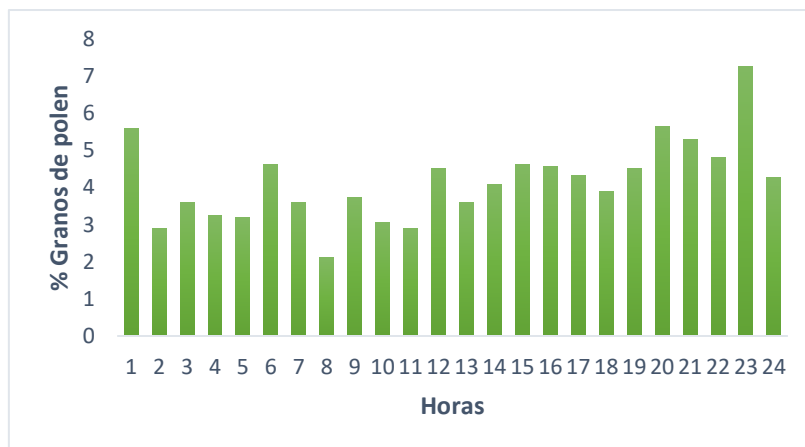


Figura 3. 29. Variación intradiaria de los granos de *Alnus* detectados en el periodo de estudio.

Las temperaturas (tabla 3.43) obtuvieron coeficientes de correlación negativos contrariamente a la humedad relativa que obtuvo mostró tener una influencia positiva y significativa sobre las concentraciones de *Alnus*. Mientras que la velocidad del viento sí que obtuvo un coeficiente de correlación positivo, la insolación también obtuvo un coeficiente significativo aunque de signo negativo.

Tabla 3. 43. Coeficientes de correlación de Spearman para *Alnus* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.476** |
| Tmin | -0.472** |
| Tmed | -0.504** |
| Prec | 0.056 |
| HR | 0.290** |
| Vel viento | 0.112** |
| Viento NE | -0.057 |
| Viento SE | -0.046 |
| Viento SO | -0.041 |
| Viento NO | -0.033 |
| Frec calmas | -0.078* |
| Insolación | -0.259** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Amaranthaceae

La distribución de granos de Amaranthaceae a pesar de ocurrir desde abril hasta prácticamente diciembre (tabla 3.44), sus máximos se registraron en agosto de ambos periodos (fig. 3.30), con 191 granos de polen/m³, durante 2014 y 231 granos de polen/m³, en 2015. Los mínimos se obtuvieron durante diciembre de 2014 con 2 granos de polen/m³, mientras que fue enero de 2016 el mes que representó la menor concentración con un grano de polen. El índice polínico anual fue inferior durante el periodo 2014-2015 con 398 granos de polen/m³, mientras que en 2015-2016 se alcanzó una cifra superior (621 granos de polen/m³).

Tabla 3. 44. Concentraciones mensuales totales de granos de Amaranthaceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|----|----|-----|-----|-----|----|---|----|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | 5 | 34 | 6 | 39 | 191 | 92 | 23 | 6 | 2 | - | 398 |
| 2015/2016 | - | - | 4 | 10 | 43 | 129 | 231 | 169 | 14 | 9 | 11 | 1 | 621 |

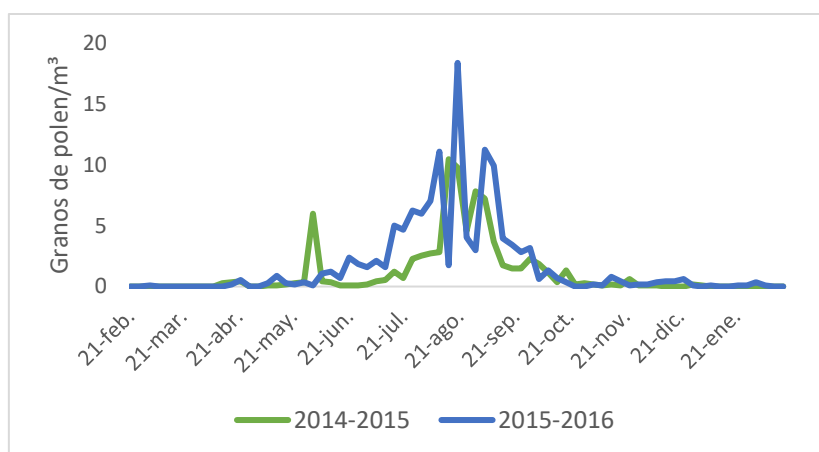


Figura 3. 30. Comportamiento estacional de granos de Amaranthaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

La longitud del PPP durante 2014 se extendió desde el 28 de mayo hasta el 26 de octubre, como se aprecia en la tabla 3.45, mientras que durante el año 2015 comenzó casi un mes después (17 de junio), finalizando el 6 de enero de 2016. Esta diferencia supuso un aumento en el índice polínico estacional durante 2015-2016 (559 granos de polen/m³), respecto a los 358 granos de polen/m³, de 2014-2015. Las fechas de los días pico estuvieron separadas por casi tres meses (28 de mayo en 2014 y 20 de agosto en 2015), mientras que las concentraciones máximas fueron bastante similares con 29 granos de polen/m³, en 2014 y 27 granos de polen/m³ en 2015.

Tabla 3. 45. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Amaranthaceae* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 358 | 28-may | 26-oct | 152 | 28-may | 29 |
| 2015-2016 | 559 | 17-jun | 6-ene | 204 | 20-ago | 27 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón intradiario (fig. 3.31) reveló un aumento de las concentraciones en la franja central del día entre las 10 y las 14h, momento en el que se alcanzan las concentraciones máximas (por encima del 8%), que comienzan a disminuir a primeras horas de la tarde, manteniéndose en valores por debajo del 4% el resto del día hasta alcanzar el valor mínimo de nuevo a las 08h, sobre el 2%.

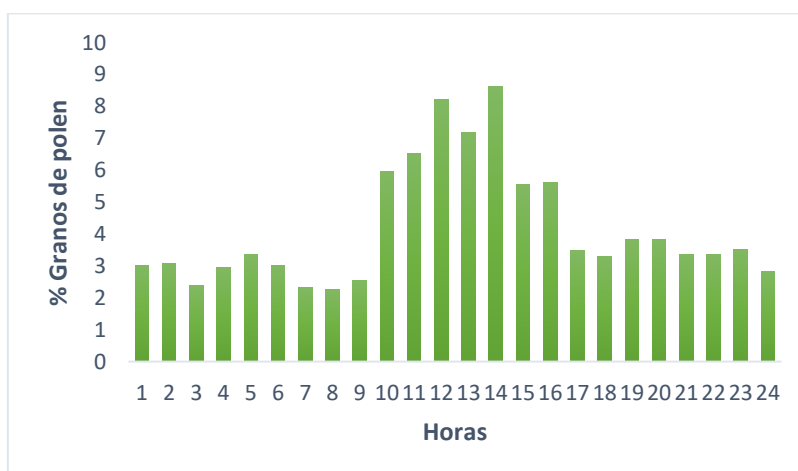


Figura 3. 31. Variación intradiaria de los granos de *Amaranthaceae* detectados en el periodo de estudio.

Amaranthaceae obtuvo unos coeficientes positivos y significativos con las temperaturas y la insolación (tabla 3.46), mientras que las precipitaciones y la humedad relativa mostraron tener una influencia negativa sobre sus concentraciones polínicas. Los vientos que obtuvieron coeficientes positivos durante el PPP fueron los procedentes del NE y NO al contrario que aquellos procedentes del SO.

Tabla 3. 46. Coeficientes de correlación de Spearman para *Amaranthaceae* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.569** |
| Tmin | 0.425** |
| Tmed | 0.550** |
| Prec | -0.206** |
| HR | -0.434** |
| Vel viento | -0.080 |
| Viento NE | 0.109* |
| Viento SE | -0.075 |
| Viento SO | -0.125* |
| Viento NO | 0.222** |
| Frec calmas | 0.028 |
| Insolación | 0.374** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Cupressaceae

El polen de Cupressaceae se encontró presente durante la totalidad del periodo de estudio y en ambos casos el mes que aportó la mayoría de los granos fue marzo, con 1487 granos de polen/m³, durante 2014 y 1149 granos de polen/m³, en 2015 (tabla 3.47). Los mínimos estuvieron recogidos durante agosto de 2014 con 5 granos de polen/m³, y durante julio de 2015 con 4 granos de polen/m³. Además, el índice polínico anual fue bastante similar de un periodo de estudio a otro (2577 granos de polen/m³, en el periodo 2014-2015 y 2325 granos de polen/m³, durante 2015-2016).

Tabla 3. 47. Concentraciones mensuales totales de granos de Cupressaceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|-----|------|-----|----|----|---|---|----|----|-----|-----|-----|------|
| 2014/2015 | 30 | 1487 | 57 | 60 | 10 | 7 | 5 | 11 | 97 | 530 | 187 | 62 | 2577 |
| 2015/2016 | 119 | 1149 | 162 | 44 | 51 | 4 | 5 | 11 | 37 | 105 | 189 | 322 | 2325 |

La distribución generó también picos durante los meses de octubre, noviembre y diciembre (figura 3.32), registrándose un total de 530 granos en noviembre de 2014 y 189 granos en diciembre de 2015, continuándose en enero de 2016 la abundancia de Cupressaceae con 322 granos.

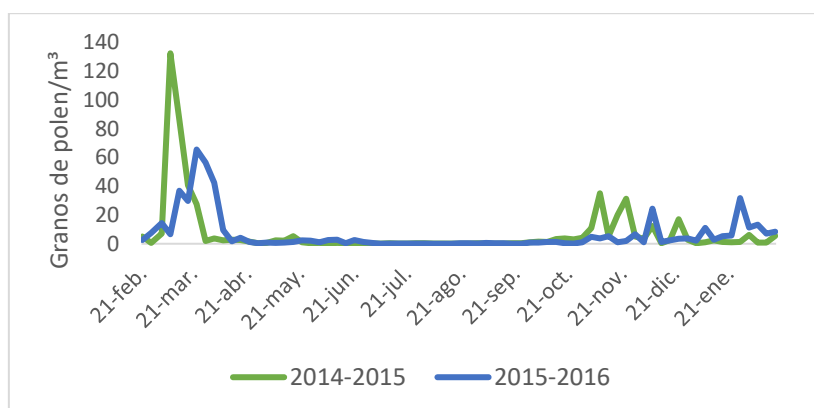


Figura 3. 32. Comportamiento estacional de granos de Cupressaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Los días pico coincidieron en el mes de marzo en ambas anualidades (5 de marzo de 2014 y 28 de marzo de 2015) con unos valores de concentración máxima de 196 granos de polen/m³ durante 2014 y 132 granos de polen/m³ en 2015 (tabla 3.48).

Tabla 3. 48. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Cupressaceae registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | - | - | - | - | 5-mar | 196 |
| 2015-2016 | - | - | - | - | 28-mar | 132 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

La variación intradiaria de Cupressaceae (fig. 3.33), obtuvo un patrón de incremento en la primera franja del día (05-10h) momento en el que se alcanza la concentración máxima (por encima del 8%) y comienza el descenso, que se produce de manera suave hasta la última hora de la noche. Se aprecia una pequeña oscilación entre las 01-04h, incrementándose ligeramente el porcentaje de granos de polen por encima del 3%.

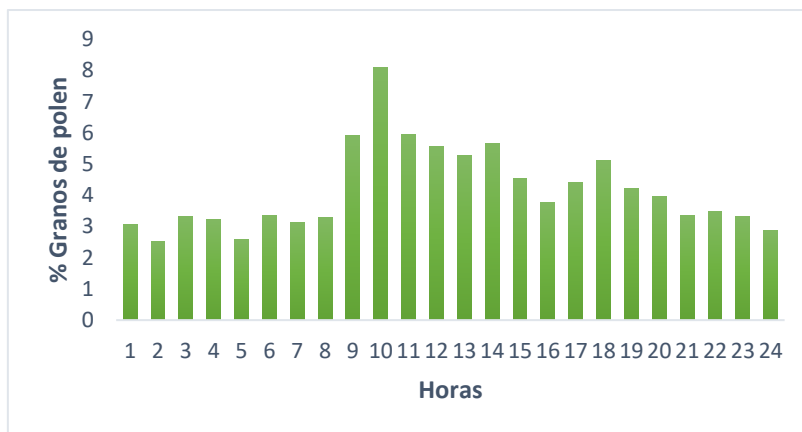


Figura 3. 33. Variación intradiaria de los granos de Cupressaceae detectados en el periodo de estudio.

Cupressaceae obtuvo unos valores de correlación negativos para las temperaturas y la insolación a lo largo de su PPP (tabla 3.49), mientras que la humedad relativa tuvo una influencia positiva sobre sus concentraciones polínicas. En lo que se refiere a los vientos aquellos procedentes del NE y SE, sí que mostraron una correlación positiva, aunque de bajo valor, contrario a los vientos del SO y NO.

Tabla 3. 49. Coeficientes de correlación de Spearman para Cupressaceae y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.413** |
| Tmin | -0.464** |
| Tmed | -0.456** |
| Prec | 0.019 |
| HR | 0.265** |
| Vel viento | 0.030 |
| Viento NE | 0.090* |
| Viento SE | 0.075* |
| Viento SO | -0.116** |
| Viento NO | -0.192** |
| Frec calmas | 0.002 |
| Insolación | -0.273** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Ericaceae

El índice polínico anual del periodo 2014-2015 fue de 373 granos de polen/m³ (tabla 3.50), mientras que durante el segundo periodo de estudio el índice polínico fue ligeramente superior (499 granos de polen/m³). La presencia de granos de la familia Ericaceae en la atmósfera abarca desde marzo hasta prácticamente diciembre (fig. 3.34), estando las concentraciones máximas recogidas en el mes de mayo. Durante el periodo 2014-2015 el número de granos fue inferior (232 granos de polen/m³) con respecto a 2015-2016 (309 granos de polen/m³) estando los mínimos localizados en enero de 2014-2015 con un grano de polen y en diciembre de 2015-2016 con 2 granos de polen/m³.

Tabla 3. 50. Concentraciones mensuales totales de granos de Ericaceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|----|-----|----|----|----|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | 25 | 74 | 232 | 16 | 2 | 11 | 3 | 7 | 2 | - | 1 | 373 |
| 2015/2016 | - | 25 | 69 | 309 | 61 | 14 | 6 | 4 | 5 | 4 | 2 | - | 499 |

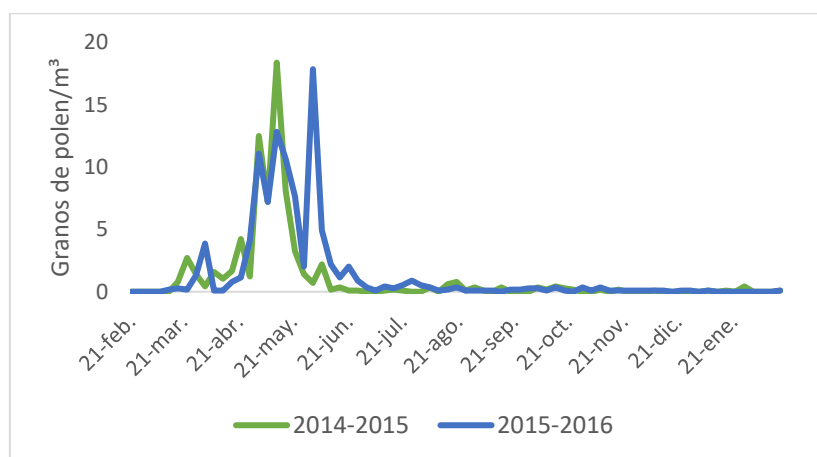


Figura 3. 34. Comportamiento estacional de granos de Ericaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Respecto al periodo principal de polinización, la fecha de inicio fue bastante similar en los dos periodos (24 de marzo de 2014 y 31 de marzo de 2015) (tabla 3.51), alargándose el PPP durante el primer año hasta el 17 de noviembre, finalizando un mes antes en 2015 (11 de octubre) generando una duración de 239 días en 2014-2015 y 195 días en 2015-2016. A pesar de ser más largo el periodo principal de 2014 registró un índice polínico estacional menor (336 granos de polen/m³) que el periodo siguiente (449 granos de polen/m³). Las fechas de los días pico coincidieron en el mes de mayo aunque en 2014 se situó al inicio (8 de mayo) y en 2015 al final

(31 de mayo), con unas concentraciones máximas similares de 36 y 30 granos de polen/m³, respectivamente.

Tabla 3. 51. *Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Ericaceae registrados a lo largo del estudio.*

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 336 | 24-mar | 17-nov | 239 | 8-may | 36 |
| 2015-2016 | 449 | 31-mar | 11-oct | 195 | 31-may | 30 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón de distribución intradiario (fig. 3.35) mostró una disminución del porcentaje de representación en la segunda franja del día (10-20h) donde se concentraron los menores valores. Si bien, se aprecia un incremento entre las 12h y las 17h, las concentraciones máximas no se alcanzan hasta las 22h, manteniéndose en valores por encima del 6% hasta las 01h donde disminuye ligeramente el porcentaje de representación hasta el 5%, sufriendo un descenso hasta el 4% a las 05h, pero incrementándose a la hora siguiente por encima del 5% y disminuyendo de manera suave hasta las 10h, donde ocurre un descenso abrupto de las concentraciones.

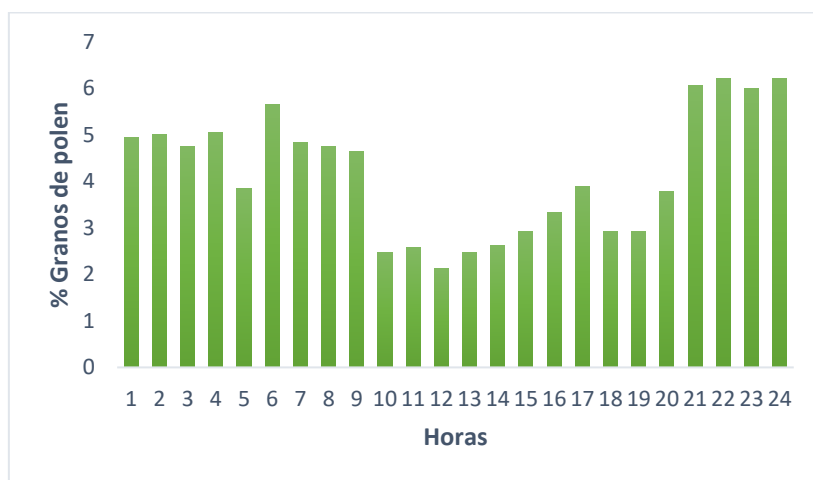


Figura 3. 35. *Variación intradiaria de los granos de Ericaceae detectados en el periodo de estudio.*

El análisis de correlación con los parámetros meteorológicos (tabla 3.52) solamente resultó en coeficientes positivos la velocidad del viento y la insolación a lo largo del PPP de Ericaceae. El resto de factores obtuvieron correlaciones negativas o no significativas para este tipo de polen, siendo especialmente llamativo en el caso de las direcciones de los vientos, donde ninguna mostró una influencia directa sobre las concentraciones de Ericaceae.

Tabla 3. 52. Coeficientes de correlación de Spearman para *Ericaceae* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.080 |
| Tmin | -0.115* |
| Tmed | -0.102* |
| Prec | -0.111* |
| HR | -0.123* |
| Vel viento | 0.183** |
| Viento NE | 0.029 |
| Viento SE | -0.039 |
| Viento SO | -0.035 |
| Viento NO | 0.015 |
| Frec calmas | -0.195** |
| Insolación | 0.166** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Fraxinus

El índice polínico anual del periodo 2014-2015 fue casi cuatro veces inferior (609 granos de polen/m³) al de 2015-2016 (2156 granos de polen/m³) como se aprecia en la tabla 3.53. *Fraxinus* estuvo ausente durante los meses más cálidos (fig. 3.36), registrándose sus niveles máximos en febrero de ambos periodos con 206 granos de polen/m³, durante 2014 y 784 granos de polen/m³, en 2015. Los mínimos se localizaron en abril de 2014 con 2 granos de polen/m³, y en octubre de 2015 con 15 granos de polen/m³.

Tabla 3. 53. Concentraciones mensuales totales de granos de *Fraxinus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|-----|-----|----|---|---|---|---|---|----|----|----|-----|------|
| 2014/2015 | 206 | 174 | 2 | - | - | - | - | 3 | 5 | 19 | 9 | 58 | 609 |
| 2015/2016 | 784 | 624 | 16 | - | - | - | - | - | 15 | 57 | 95 | 469 | 2156 |

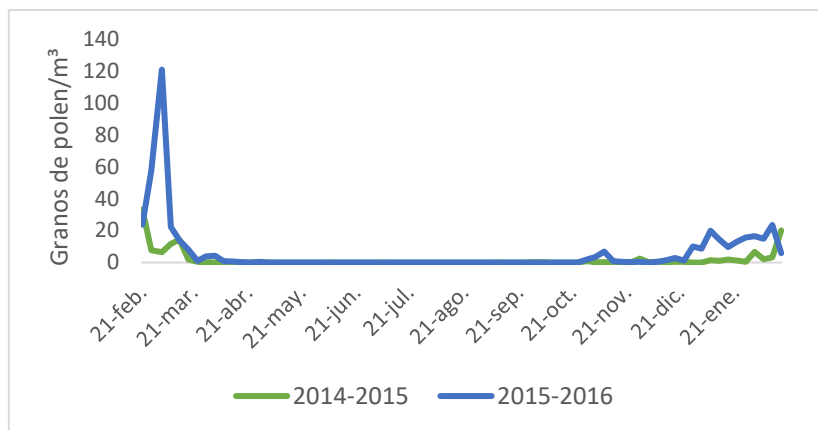


Figura 3. 36. Comportamiento estacional de granos de *Fraxinus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Los días pico (tabla 3.54) se registraron con una diferencia de diez días, el 20 de febrero en el primer año y el 1 de marzo durante 2015, con unas concentraciones máximas de 51 y 149 granos de polen/m³ respectivamente.

Tabla 3. 54. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Fraxinus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|-----|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | - | - | - | - | 20-feb | 51 |
| 2015-2016 | - | - | - | - | 1-mar | 149 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

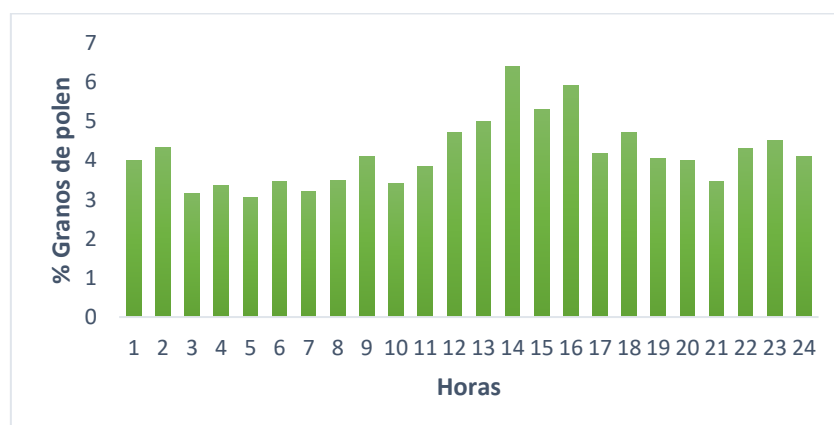


Figura 3. 37. Variación intradiaria de los granos de *Fraxinus* detectados en el periodo de estudio.

En el estudio de la variación intradiaria (fig. 3.37) se aprecia un incremento de las concentraciones en las horas centrales del día (09-14h) con valores por encima del 6% del total diario a las 14 siendo ligeramente inferior a las 16 horas. De las 18h a las 21h se observa un descenso de las concentraciones hasta valores que rondan el 3%, y se observan incrementos en otras franjas del día (22-02h), con concentraciones totales diarias con valores en torno al 4%.

El análisis de correlación de *Fraxinus* con los parámetros meteorológicos (tabla 3.55) mostró que las precipitaciones y la humedad relativa afectaron positiva y significativa sobre la concentración de polen a lo largo de su PPP, mientras que las temperaturas y la insolación resultaron en coeficientes contrarios. Únicamente los vientos del SO registraron coeficientes de bajo valor positivo en este tipo de polen, mientras que las otras direcciones obtuvieron unos coeficientes negativos, igualmente de bajo valor.

Tabla 3. 55. *Coficientes de correlación de Spearman para Fraxinus y los parámetros meteorológicos.*

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.589** |
| Tmin | -0.547** |
| Tmed | -0.605** |
| Prec | 0.140** |
| HR | 0.429** |
| Vel viento | 0.063 |
| Viento NE | -0.111** |
| Viento SE | -0.012 |
| Viento SO | 0.081* |
| Viento NO | -0.092* |
| Frec calmas | -0.053 |
| Insolación | -0.404** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Olea

Durante el periodo 2014-2015 el índice polínico de *Olea* fue de 584 granos de polen/m³, siendo casi el triple durante el segundo periodo (1557 granos de polen/m³), como se muestra en la tabla 3.56. Aunque la distribución estuvo extendida desde abril hasta junio-julio en ambos periodos (figura 3.38), las máximas concentraciones registradas ocurrieron en mayo de 2014 con 296 granos de polen/m³, y 1036 granos de polen/m³, en 2015. Los mínimos estuvieron localizados en agosto y enero de 2014-2015 con 2 granos de polen/m³, siendo durante enero de 2016 recogido un único grano de polen.

Tabla 3. 56. Concentraciones mensuales totales de granos de *Olea* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|------|-----|----|----|---|---|---|---|---|------|
| 2014/2015 | - | - | 4 | 296 | 262 | 4 | 2 | 4 | 6 | 4 | - | 2 | 584 |
| 2015/2016 | - | - | 3 | 1036 | 455 | 29 | 14 | 4 | 7 | 4 | 4 | 1 | 1557 |

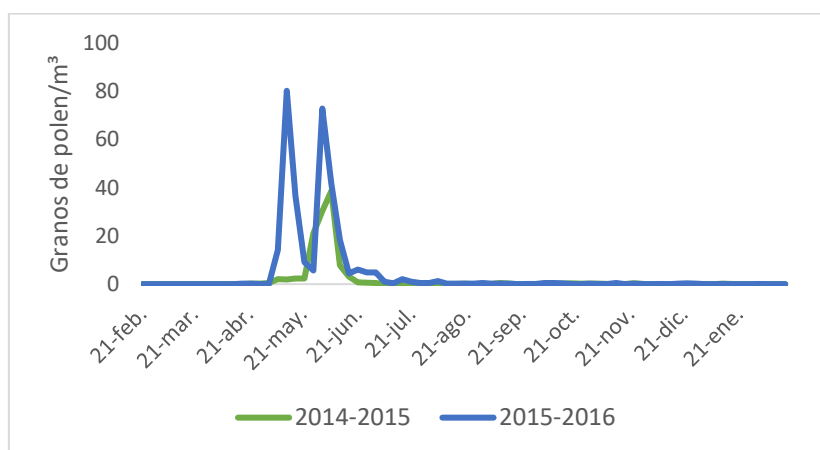


Figura 3. 38. Comportamiento estacional de granos de *Olea* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPP de este tipo polínico fue bastante similar respecto a sus fechas de inicio y fin, teniendo lugar en los mismo meses (inicio: 15 de mayo de 2014 y 8 de mayo de 2015; fin: 27 de noviembre de 2014 y 22 de noviembre de 2015), como se aprecia en la tabla 3.57, mostrando una duración similar de 197 días en 2014-2015 y 203 días en 2015-2016. No obstante, el número de granos de polen registrados durante 2014-2015 fue de 525 granos de polen/m³, mientras que en 2015-2016 esta cifra aumentó hasta 1401 granos de polen/m³. Los días pico coincidieron también durante el mes de mayo (día 28 en 2014 y el 11 en 2015) aunque los valores fueron ligeramente diferentes, con 96 granos de polen/m³ en el primer año respecto a los 135 granos de polen/m³ del segundo.

Tabla 3. 57. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Olea* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 525 | 15-may | 27-nov | 197 | 28-may | 96 |
| 2015-2016 | 1401 | 8-may | 22-nov | 203 | 11-may | 135 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón intradiario (fig. 3.39), mostró los valores mínimos de *Olea* comprendidos entre las 06h y las 11h (2-3%), incrementándose las concentraciones desde las 12 hasta las 21h, donde se alcanza una concentración total diaria del 6%. A partir de ese momento comienza el descenso, llegando al 4% del total diario a las 01h. Se aprecia un incremento posterior de las concentraciones (5%) que se mantiene hasta las 04h.

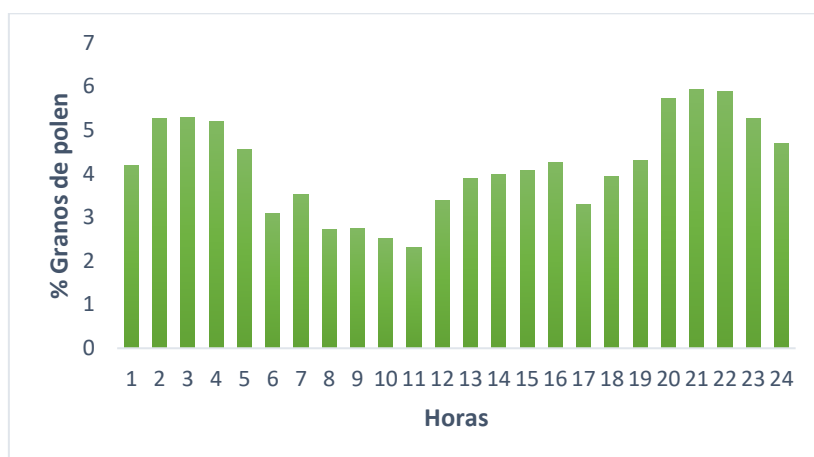


Figura 3. 39. Variación intradiaria de los granos de *Olea* detectados en el periodo de estudio.

Las temperaturas y la insolación (tabla 3.58) resultaron en coeficientes positivos y significativos sobre las concentraciones de *Olea*, de forma contraria al comportamiento registrado para la humedad relativa. Únicamente la velocidad obtuvo coeficientes positivos en el parámetro vientos.

Tabla 3. 58. Coeficientes de correlación de Spearman para Olea y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.319** |
| Tmin | 0.224** |
| Tmed | 0.297** |
| Prec | -0.072 |
| HR | -0.426** |
| Vel viento | 0.216** |
| Viento NE | 0.051 |
| Viento SE | -0.009 |
| Viento SO | 0.024 |
| Viento NO | 0.051 |
| Frec calmas | -0.179** |
| Insolación | 0.375** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Papaveraceae

El índice polínico del periodo 2014-2015 fue de 206 granos de polen/m³ en contraposición a los 871 granos de polen/m³, del periodo 2015-2016 (tabla 3.59). Los granos de polen de Papaveraceae se registraron desde mayo hasta agosto, con concentraciones elevadas entre mayo y julio (fig. 3.40).

Tabla 3. 59. Concentraciones mensuales totales de granos de Papaveraceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|-----|-----|-----|----|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | - | 2 | 78 | 64 | 61 | - | - | 1 | - | - | 206 |
| 2015/2016 | - | - | - | 235 | 299 | 300 | 32 | 2 | 2 | 1 | - | - | 871 |

Las concentraciones máximas durante 2014-2015 las tuvo mayo con 78 granos de polen/m³, mientras que en 2015-2016 tanto junio como julio registraron valores casi idénticos 299 granos de polen/m³, en junio y 300 granos de polen/m³, en julio.

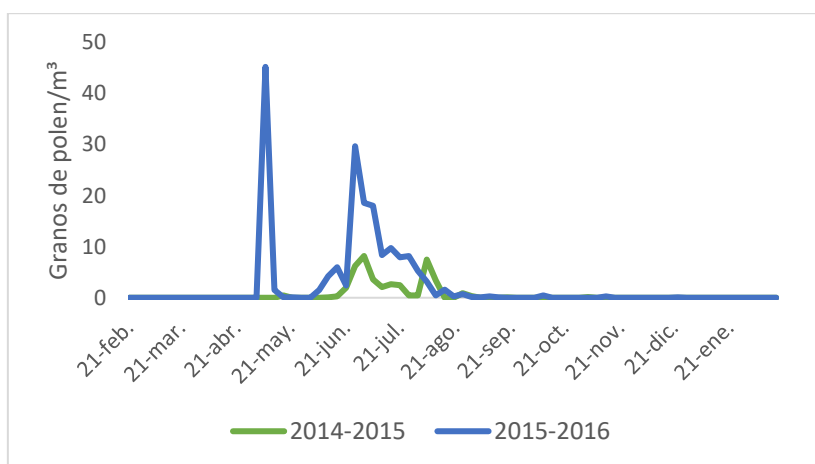


Figura 3. 40. Comportamiento estacional de granos de Papaveraceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal de polinización se extendió desde el 20 de junio hasta el 25 de agosto de 2014 y desde el 6 de mayo hasta el 29 de julio de 2015 (tabla 3.60). A pesar de no tener una duración muy larga (67 días el primer año y 85 el segundo), la concentración registrada durante 2015-2016 fue bastante más elevada, con 784 granos de polen/m³, con respecto al primer periodo (185 granos de polen/m³). Asimismo, se registró el pico de este tipo de polen el día 6 de mayo de 2015 (220 granos de polen/m³) mientras que el día de máxima concentración en 2014 fue el 1 de agosto con 30 granos de polen/m³.

Tabla 3. 60. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Papaveraceae registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 185 | 20-jun | 25-ago | 67 | 1-ago | 30 |
| 2015-2016 | 784 | 6-may | 29-jul | 85 | 6-may | 220 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón de distribución horaria (fig. 3.41) mostró que las concentraciones mínimas se alcanzan a las 12h con valores sobre el 1%, pero rápidamente se produjo un incremento hasta las 15h donde se alcanzó un total diario del 10%. Aunque ocurrió un descenso abrupto a las 16h de, prácticamente la mitad del porcentaje de representación anteriormente mencionado, a las 17h se volvió a incrementar hasta valores en torno al 10% nuevamente, disminuyendo hasta las 21h, con un 2% del total diario. En las horas finales de la noche (00-01h) se observó un incremento del 2 al 5% del total diario.

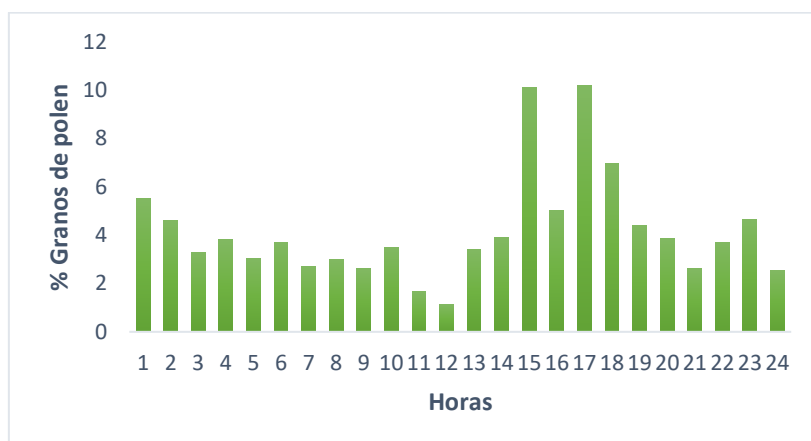


Figura 3. 41. Variación intradiaria de los granos de Papaveraceae detectados en el periodo de estudio.

Mientras que las temperaturas obtuvieron un coeficiente de correlación positivo y significativo con el polen de Papaveraceae a lo largo de su PPP (tabla 3.61), la insolación mostró una influencia también significativa, pero negativa sobre sus concentraciones. Los vientos del SO-NO mostraron ejercer una influencia positiva y significativa sobre las concentraciones de Papaveraceae, al contrario que los vientos del NE. La frecuencia de calmas obtuvo un coeficiente de significación positivo pero de bajo valor durante el PPP de este polen.

Tabla 3. 61. Coeficientes de correlación de Spearman para *Papaveraceae* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.318** |
| Tmin | 0.406** |
| Tmed | 0.388** |
| Prec | 0.088 |
| HR | 0.078 |
| Vel viento | -0.095 |
| Viento NE | -0.386** |
| Viento SE | 0.038 |
| Viento SO | 0.434** |
| Viento NO | 0.232** |
| Frec calmas | 0.192* |
| Insolación | -0.087 |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Pinus

El índice polínico anual del primer periodo de estudio fue de 2590 granos de polen/m³, con respecto al periodo 2015-2016 (3419 granos de polen/m³), como se aprecia en la tabla 3.62. Los granos de *Pinus* se localizaron a lo largo de casi todo el periodo de estudio pero las máximas concentraciones mensuales se sucedieron durante los meses de abril y mayo (figura 3.42), con 1305 granos de polen/m³, en abril de 2014 y 2005 granos de polen/m³, en mayo de 2015. Los mínimos estuvieron localizados en junio y noviembre de 2014 con 7 granos de polen/m³ y en octubre de 2015 con un solo grano captado y septiembre sin presencia de *Pinus*.

Tabla 3. 62. Concentraciones mensuales totales de granos de *Pinus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|-----|------|------|-----|----|----|----|----|---|----|----|------|
| 2014/2015 | - | 152 | 1305 | 906 | 55 | 7 | 33 | 28 | 70 | 7 | 9 | 15 | 2590 |
| 2015/2016 | 6 | 99 | 432 | 2005 | 782 | 62 | 4 | - | 1 | 4 | 10 | 8 | 3419 |

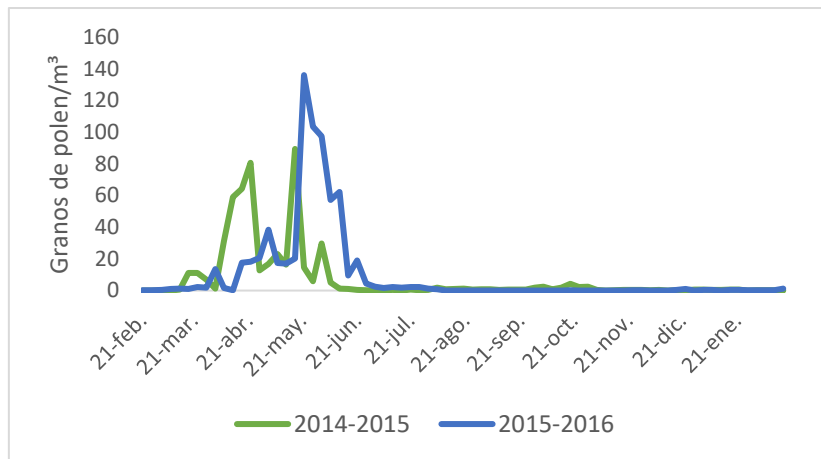


Figura 3. 42. Comportamiento estacional de granos de *Pinus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo de polinización principal de *Pinus* (tabla 3.63), se extendió desde marzo hasta enero en el caso de 2014-2015, con una duración de 283 días, mientras que en 2015-2016 la duración fue mucho más corta al situarse entre abril y agosto, con 110 días. A pesar de esta diferencia el periodo 2014-2015 registró un índice polínico estacional de 2331 granos de polen/m³, respecto a los 3077 granos de polen/m³, de 2015-2016. No obstante el pico máximo se localizó durante 2015 (el 29 de mayo), con 282 granos de polen/m³, mientras que en 2014, la concentración diaria más elevada también se registró en mayo (el día 16) pero con 168 granos de polen/m³.

Tabla 3. 63. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Pinus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|-------|--------------------|----------|--------------|
| 2014-2015 | 2331 | 23-mar | 1-ene | 283 | 16-may | 168 |
| 2015-2016 | 3077 | 17-abr | 4-ago | 110 | 29-may | 282 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El estudio de la variación intradiaria (fig. 3.43) mostró dos periodos de incremento: uno entre las 06h y las 9h, donde se alcanzan los porcentajes de representación máximos (6%), y otro que se sucede de manera más suave, desde las 13h (momento de mínimo diario con el 2%) hasta las 00h, cuando alcanza el segundo momento de máxima concentración diaria (cercano al 6%).

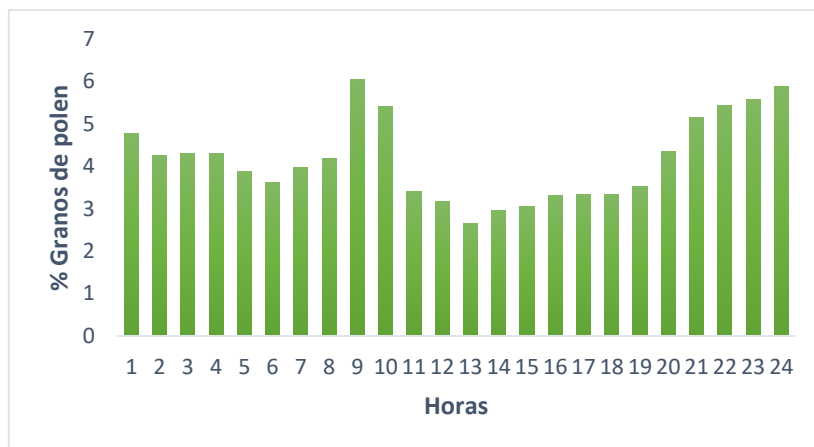


Figura 3. 43. Variación intradiaria de los granos de *Pinus* detectados en el periodo de estudio.

El análisis de las correlaciones con los parámetros meteorológicos (tabla 3.64), obtuvo coeficientes positivos y significativos únicamente en el caso de la velocidad del viento y la insolación, mientras que la frecuencia de calmas y la humedad relativa supusieron una influencia negativa y significativa sobre las concentraciones del polen.

Tabla 3. 64. Coeficientes de correlación de Spearman para *Pinus* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.069 |
| Tmin | -0.058 |
| Tmed | 0.006 |
| Prec | -0.098 |
| HR | -0.266** |
| Vel viento | 0.198** |
| Viento NE | 0.057 |
| Viento SE | -0.027 |
| Viento SO | -0.058 |
| Viento NO | -0.027 |
| Frec calmas | -0.191** |
| Insolación | 0.227** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Plantago

El índice polínico anual de *Plantago* fue tres veces menor durante el periodo 2014-2015 (431 granos de polen/m³) con respecto al periodo 2015-2016, con 1426 granos de polen/m³ (tabla 3.65). Aunque este polen estuvo presente casi todo el año, excepto en los meses de febrero en ambas anualidades, las máximas concentraciones se registraron en mayo - junio (figura 3.44), con 164 granos de polen/m³, durante 2014 y 833 granos de polen/m³, en 2015. Los mínimos se localizaron en noviembre y diciembre de 2014 con 2 granos de polen/m³ y en diciembre y enero de 2015-2016 con solo un grano de polen en cada uno de los meses.

Tabla 3. 65. Concentraciones mensuales totales de granos de *Plantago* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|-----|-----|-----|-----|----|----|---|---|---|---|------|
| 2014/2015 | - | - | 42 | 164 | 107 | 38 | 53 | 17 | 7 | 2 | 2 | - | 431 |
| 2015/2016 | - | 10 | 135 | 833 | 223 | 157 | 38 | 15 | 6 | 6 | 1 | 1 | 1426 |

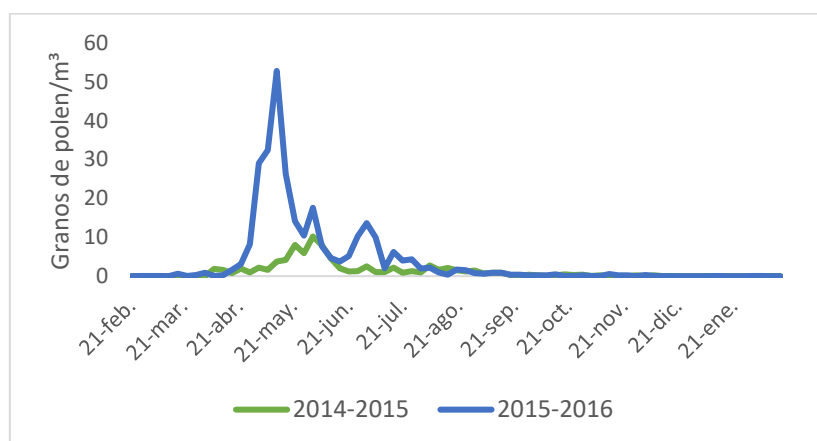


Figura 3. 44. Comportamiento estacional de granos de *Plantago* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal a pesar de comenzar en el mismo mes para ambos años (18 de abril de 2014 y 27 de abril de 2015) (tabla 3.66), finalizó con casi dos meses de diferencia (18 de diciembre en 2014 y 27 de octubre en 2015) siendo en 2014 más largo (245 días) que en 2015 (110 días). A pesar de esta diferencia en la duración del PPP, el índice polínico estacional más elevado se registró en 2015-2016, con 1283 granos de polen/m³, mientras que en 2014-2015 fue de 388 granos de polen/m³. Los picos de máximos diarios tuvieron lugar en mayo en ambos años alcanzando concentraciones diferentes (22 granos de polen/m³, el 18 de mayo de 2014 y 69 granos de polen/m³, el 9 de mayo de 2015).

Tabla 3. 66. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Plantago* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 388 | 18-abr | 18-dic | 245 | 18-may | 22 |
| 2015-2016 | 1283 | 27-abr | 27-oct | 110 | 9-may | 69 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El estudio de la variación intradiaria de *Plantago* (fig. 3.45) mostró un aumento de las concentraciones durante las primeras horas del día hasta media mañana (04-12h), alcanzando su valor máximo por encima del 7% y disminuyendo desde entonces hasta las 24h por debajo del 3%. Hay un pequeño incremento a las 01h que disminuye hasta alcanzar el porcentaje mínimo diario a las 04 horas (2%).

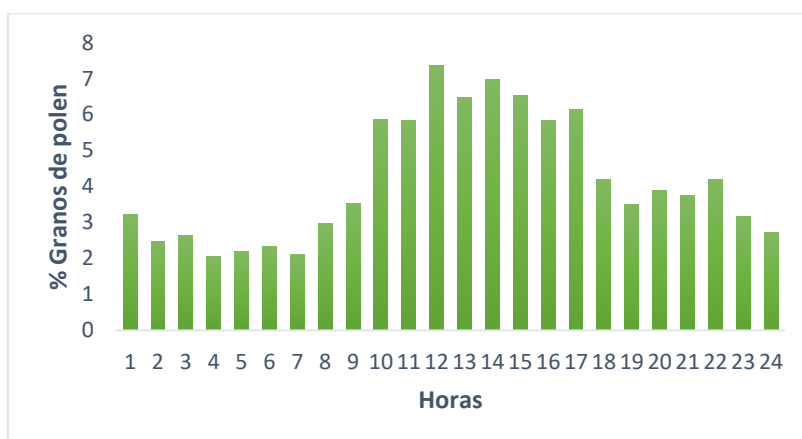


Figura 3. 45. Variación intradiaria de los granos de *Plantago* detectados en el periodo de estudio.

Plantago obtuvo una correlación positiva y significativa con las temperaturas y la insolación (tabla 3.67), mientras que los coeficientes fueron negativos respecto a las precipitaciones y la humedad relativa. Tanto la velocidad como los vientos del NO resultaron en coeficientes positivos, quedando negativa y significativa la influencia de las calmas a lo largo del PPP sobre las concentraciones de polen.

Tabla 3. 67. Coeficientes de correlación de Spearman para *Plantago* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.402** |
| Tmin | 0.273** |
| Tmed | 0.382** |
| Prec | -0.285** |
| HR | -0.487** |
| Vel viento | 0.149** |
| Viento NE | 0.006 |
| Viento SE | -0.094 |
| Viento SO | -0.016 |
| Viento NO | 0.201** |
| Frec calmas | -0.203** |
| Insolación | 0.516** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Platanus

El índice polínico anual por otro lado mostró diferencias del periodo 2014-2015 (1246 granos de polen/m³) con respecto a 2015-2016 (2084 granos de polen/m³) como se muestra en la tabla 3.68. *Platanus* obtuvo las máximas contracciones en abril (fig. 3.46) en ambos periodos de estudio, con 1203 granos de polen/m³, en 2014 y 1965 granos de polen/m³, en 2015. Los mínimos estuvieron localizados en julio y noviembre de 2014 con un solo grano de polen captado mientras que durante 2015-2016 los meses de julio, agosto, diciembre y enero alcanzaron la misma cifra de un solo grano de polen.

Tabla 3. 68. Concentraciones mensuales totales de granos de *Platanus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|------|
| 2014/2015 | - | 22 | 1203 | 14 | - | 1 | - | 2 | 2 | 1 | - | - | 1246 |
| 2015/2016 | - | 47 | 1965 | 38 | 38 | 1 | 1 | 5 | 7 | 9 | 1 | 1 | 2084 |

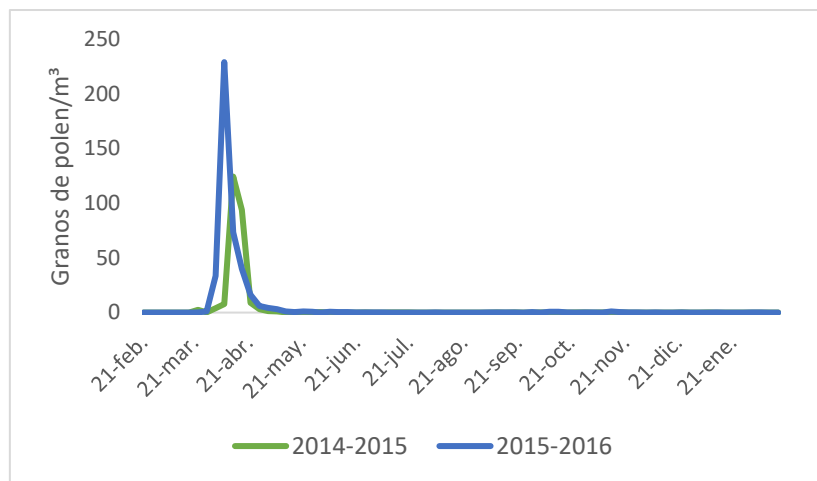


Figura 3. 46. Comportamiento estacional de granos de *Platanus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal de polinización estuvo bastante definido con el inicio en el mismo mes (7 de abril de 2014 y 2 de abril de 2015) (tabla 3.69), aunque el final se alarga ligeramente durante 2015 comparado con 2014 (11 de junio y 31 de mayo, respectivamente). El índice polínico estacional fue de 1121 granos de polen/m³, durante 2014-2015, mientras que en 2015-2016 fue de 1875 granos de polen/m³. La duración debido a ese ligero alargamiento resultó en 55 días durante 2014-2015 y de 71 días para 2015-2016. Los días pico se establecieron en el mismo mes de abril siendo el día 12 durante el primer periodo y el 6 en el segundo, con unas concentraciones máximas de 245 y 465 granos de polen/m³, respectivamente.

Tabla 3. 69. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Platanus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 1121 | 7-abr | 31-may | 55 | 12-abr | 245 |
| 2015-2016 | 1875 | 2-abr | 11-jun | 71 | 6-abr | 465 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

La distribución intradiaria de *Platanus* mostró un incremento de las concentraciones en las horas centrales del día (10-16h) (fig. 3.47), manteniéndose en valores por encima del 6-7% y descendiendo a partir de ese momento. Dicho descenso ocurre de manera brusca, con los valores que llegan al 3% del total diario a las 19h-20h, momento en el que sube ligeramente el porcentaje de concentraciones hasta las 24h, sobre el 4%. Desde esta hora los porcentajes de representación horarios vuelven a mantenerse en torno al 3% hasta su descenso al valor mínimo a las 08h, por debajo del 2%.

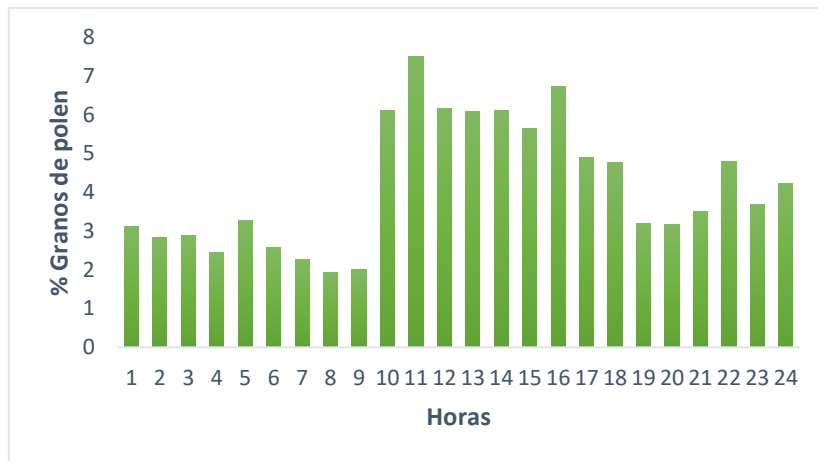


Figura 3. 47. Variación intradiaria de los granos de *Platanus* detectados en el periodo de estudio.

Mientras que las temperaturas y la insolación (tabla 3.70) supusieron una influencia negativa y significativa sobre las concentraciones de este tipo de polen, la humedad relativa obtuvo valores positivos y significativos al igual que sucedió con los vientos del SE.

Tabla 3. 70. Coeficientes de correlación de Spearman para *Platanus* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.329** |
| Tmin | -0.269** |
| Tmed | -0.357** |
| Prec | 0.105 |
| HR | 0.324** |
| Vel viento | -0.059 |
| Viento NE | 0.026 |
| Viento SE | 0.282** |
| Viento SO | -0.015 |
| Viento NO | -0.160 |
| Frec calmas | 0.152 |
| Insolación | -0.312** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Poaceae

El índice polínico anual fue de 3659 granos de polen/m³, durante el periodo 2014-2015 y de 5279 granos de polen/m³, en el periodo 2015-2016 (tabla 3.71). El polen de Poaceae, puede encontrarse a lo largo de todo el año, pero las máximas concentraciones ocurren durante mayo - julio (fig. 3.48), con 1084 granos de polen/m³, en mayo de 2014, cifra casi duplicada en 2015, con (2137 granos de polen/m³). Los mínimos estuvieron localizados en diciembre de 2014 con 35 granos de polen/m³, y noviembre de 2015 con 40 granos de polen/m³.

Tabla 3. 71. Concentraciones mensuales totales de granos de Poaceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|------|
| 2014/2015 | 183 | 197 | 234 | 1084 | 924 | 278 | 242 | 178 | 95 | 40 | 35 | 97 | 3659 |
| 2015/2016 | 181 | 224 | 172 | 2137 | 1390 | 561 | 157 | 100 | 48 | 40 | 49 | 151 | 5279 |

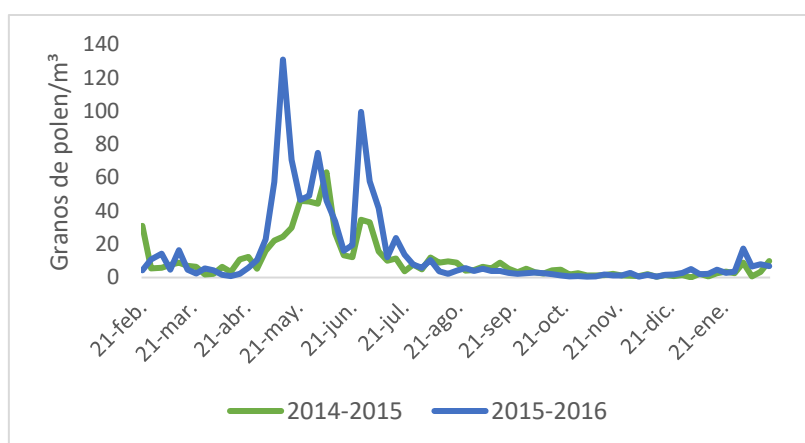


Figura 3. 48. Comportamiento estacional de granos de Poaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal de polinización de Poaceae es bastante extenso iniciándose en marzo en ambos años y finalizando en febrero del año siguiente (tabla 3.72). Durante 2014 la fecha de inicio fue el 1 de marzo mientras que al siguiente año se retrasó dos semanas, hasta el 16 de marzo, estando el final separado por dos días solamente (16 de febrero de 2015 y 14 de febrero de 2016). El índice polínico estacional fue inferior en 2014-2015 (3293 granos de polen/m³) a pesar de tener un PPP más largo con 353 días, respecto a 2015-2016 que con 336 días registró un índice de 4751 granos de polen/m³. Los días pico coincidieron en el mes de mayo con una semana de diferencia siendo el 18 de mayo en 2014 y el 11 de mayo en 2015. Las concentraciones máximas también difirieron en la cantidad con 113 granos de polen/m³, en 2014 y 208 granos de polen/m³, en 2015.

Tabla 3. 72. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Poaceae registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 3293 | 1-mar | 16-feb | 353 | 18-may | 113 |
| 2015-2016 | 4751 | 16-mar | 14-feb | 336 | 11-may | 208 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón intradiario de Poaceae (fig. 3.49) no mostró grandes diferencias ni oscilaciones abruptas marcadas. Se observó un incremento desde las 08h que se mantuvo hasta 17 horas descendiendo ligeramente pero manteniendo valores en torno al 4-5% la mayoría del día excepto de 04h a 08h donde el porcentaje de representación horario disminuyó por debajo del 3% con las concentraciones mínimas registradas a las 8h (2%).

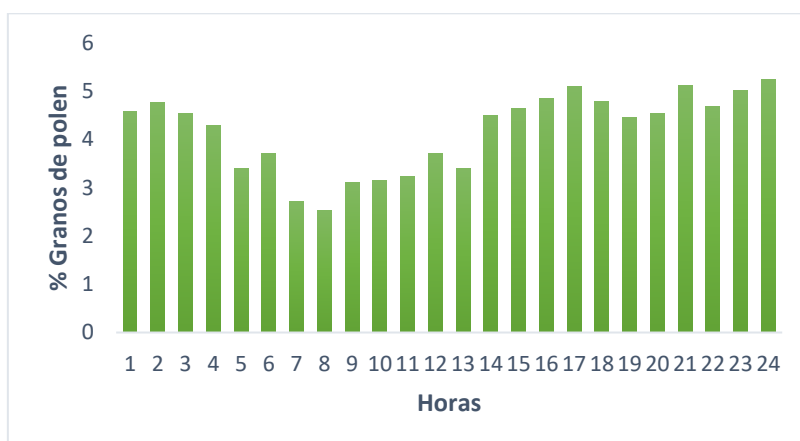


Figura 3. 49. Variación intradiaria de los granos de Poaceae detectados en el periodo de estudio.

El análisis de correlación con parámetros meteorológicos (tabla 3.73) supuso una influencia positiva y significativa de las temperaturas y la insolación sobre las concentraciones de Poaceae. Mientras que las precipitaciones y la humedad relativa obtuvieron valores contrarios, la velocidad del viento y los vientos del NO también mostraron una correlación significativamente positiva sobre las concentraciones de este tipo de polen y los vientos del SO con menor valor. Los vientos del SE y la frecuencia de calmas resultaron en coeficientes de correlación negativos.

Tabla 3. 73. Coeficientes de correlación de Spearman para Poaceae y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.530** |
| Tmin | 0.455** |
| Tmed | 0.531** |
| Prec | -0.187** |
| HR | -0.517** |
| Vel viento | 0.137** |
| Viento NE | -0.052 |
| Viento SE | -0.182** |
| Viento SO | 0.091* |
| Viento NO | 0.292** |
| Frec calmas | -0.126** |
| Insolación | 0.538** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Populus

El índice polínico anual del periodo 2014-2015 fue de 1194 granos de polen/m³ (tabla 3.74), mientras que el periodo siguiente obtuvo un índice superior con 2773 granos de polen/m³. La presencia de *Populus* está bien definida entre los meses de febrero y abril (fig. 3.50). Las máximas concentraciones se registraron en el mes de marzo, con 1001 granos de polen/m³, en 2014 y 2531 granos de polen/m³, en 2015. Se localizaron los mínimos para este tipo de polen los meses de noviembre y diciembre de 2014 con un solo grano de polen capturado, al igual que en mayo y noviembre de 2015.

Tabla 3. 74. Concentraciones mensuales totales de granos de *Populus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|
| 2014/2015 | 34 | 1001 | 152 | 2 | - | - | - | - | 2 | 1 | 1 | - | 1194 |
| 2015/2016 | 9 | 2531 | 213 | 1 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | 2773 |

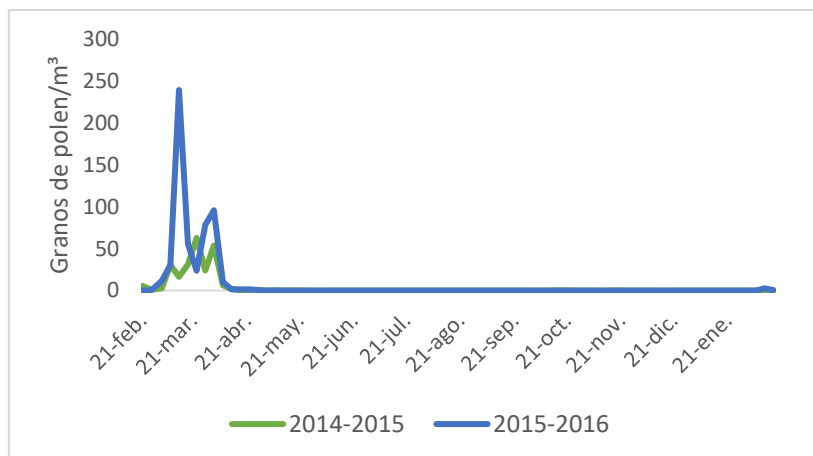


Figura 3. 50. Comportamiento estacional de granos de *Populus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPP casi abarcó el mismo intervalo en ambos años comenzando el 5 de marzo de 2014 y el 7 de marzo en 2015 y finalizando el 14 de abril de 2014 y 12 de abril de 2015 (tabla 3.75), teniendo a consecuencia una duración similar (41 días en el periodo 2014-2015 y 37 días durante 2015-2016). El periodo principal registró diferencias en los granos de polen, con 1074 granos de polen/m³, de 2014-2015, respecto a los 2496 granos de polen/m³, de 2015-2016. Aunque las fechas de concentración máxima tuvieron lugar en el mismo mes (marzo), las concentraciones máximas fueron bastante superiores en 2015, con 432 granos de polen/m³, con respecto a 2014 (112 granos de polen/m³).

Tabla 3. 75. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Populus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 1074 | 5-mar | 14-abr | 41 | 31-mar | 112 |
| 2015-2016 | 2496 | 7-mar | 12-abr | 37 | 9-mar | 432 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El estudio de la variación intradiaria (fig. 3.51) obtuvo unos valores máximos del 6% del total diario hacia el final del día, a las 22h. Desde esta hora se produce un descenso en las concentraciones con pequeñas subidas y bajadas a lo largo del día. Los valores mínimos de concentración llegan a registrarse a las 02h, 06h, 11h y 20 horas, todos ellos alrededor del 3%.

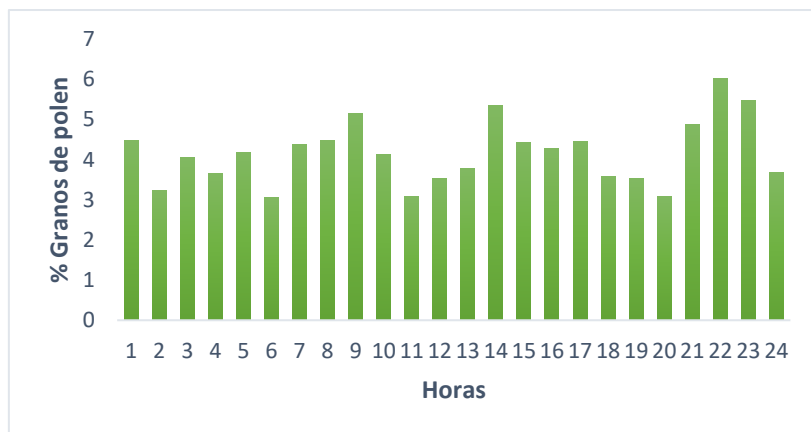


Figura 3. 51. Variación intradiaria de los granos de *Populus* detectados en el periodo de estudio.

A lo largo del análisis de correlación de los parámetros meteorológicos con el polen de *Populus* durante su PPP (tabla 3.76), ninguno de ellos obtuvo coeficientes significativos. El único que obtuvo una correlación significativa aunque de signo negativo fue la temperatura mínima.

Tabla 3. 76. Coeficientes de correlación de Spearman para *Populus* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.044 |
| Tmin | -0.347** |
| Tmed | -0.213 |
| Prec | -0.209 |
| HR | -0.175 |
| Vel viento | -0.090 |
| Viento NE | -0.034 |
| Viento SE | -0.141 |
| Viento SO | 0.044 |
| Viento NO | 0.044 |
| Frec calmas | 0.054 |
| Insolación | -0.013 |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Quercus

Los granos de *Quercus* están presentes a lo largo de prácticamente todo el año, aunque el mayor aporte se realiza en el mes de mayo (fig. 3.52), estando el máximo localizado en dicho mes con 10829 granos de polen/m³, en 2014, mientras que en 2015 fueron 6401 granos de polen/m³. Los mínimos se alcanzaron durante marzo de 2014 con 10 granos de polen/m³ y en febrero de 2015 con 7 granos de polen/m³. Los índices polínicos anuales también mostraron esa diferencia con un total de 16886 granos de polen/m³, durante el periodo 2014-2015 (tabla 3.77), mientras que en el periodo 2015-2016 fue de casi la mitad (9406 granos de polen/m³).

Tabla 3. 77. Concentraciones mensuales totales de granos de *Quercus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|------|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-------|
| 2014/2015 | - | 10 | 3762 | 10829 | 789 | 185 | 176 | 307 | 485 | 145 | 73 | 118 | 16886 |
| 2015/2016 | 7 | 29 | 933 | 6401 | 1247 | 297 | 160 | 119 | 110 | 66 | 40 | - | 9406 |

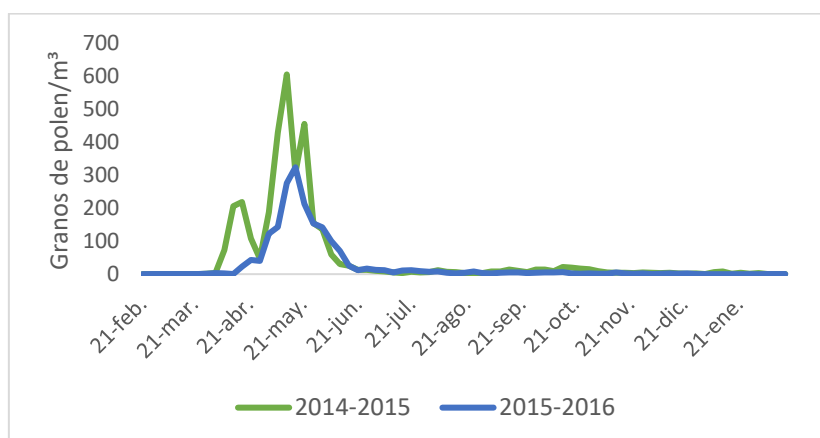


Figura 3. 52. Comportamiento estacional de granos de *Quercus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Siendo el tipo polínico más abundante en la atmósfera de Salamanca, *Quercus* tiene un PPP bastante bien definido con un comienzo en el mes de abril (día 10 en 2014 y día 27 en 2015) (tabla 3.78) y un final ligeramente más tardío en 2015 respecto 2014 (26 de diciembre y 16 de noviembre, respectivamente). El índice polínico estacional fue muy superior en 2014-2015 con 15197 granos de polen/m³, comparado al de 2015-2016 con 8465 granos de polen/m³. No obstante la duración fue similar con 221 días en el periodo 2014-2015 y 244 en 2015-2016. El día pico estuvo localizado en el mes de mayo, con cinco días de diferencia (día 8 en 2014 y 13 en 2015), pero con unas concentraciones máximas similares de 965 granos de polen/m³ en el primer periodo de estudio y 762 granos de polen/m³ en el segundo.

Tabla 3. 78. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Quercus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 15197 | 10-abr | 16-nov | 221 | 8-may | 965 |
| 2015-2016 | 8465 | 27-abr | 26-dic | 244 | 13-may | 762 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón intradiario de *Quercus* (fig. 3.53) mostró un incremento en torno a las horas centrales del día y parte de la tarde (10-17h), alcanzándose el máximo a las 14h con un porcentaje cercano al 6% del total diario, comenzando su descenso de forma suave y escalonada, pero manteniéndose en porcentajes por encima del 4% hasta las 24h. Entre las 03h y las 09h se observó un descenso en las concentraciones alcanzando su mínimo rondando el 2% a las 8-9h.

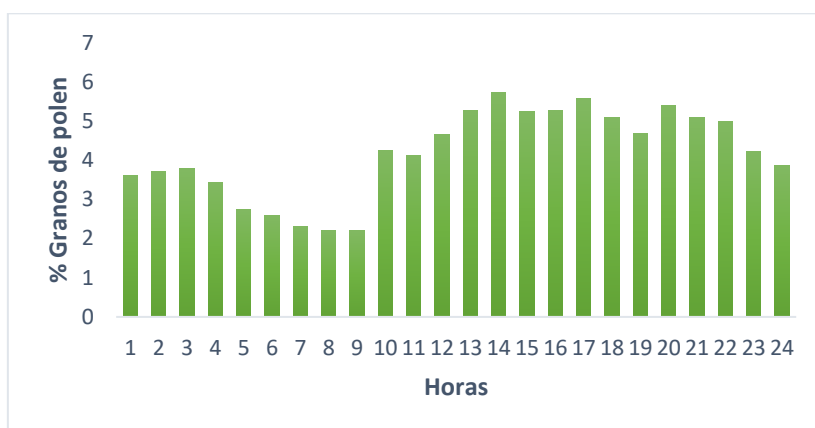


Figura 3. 53. Variación intradiaria de los granos de *Quercus* detectados en el periodo de estudio.

Las temperaturas y la insolación resultaron en coeficientes positivos y significativos aunque de bajo valor (tabla 3.79), mientras que la humedad relativa reflejó una correlación de signo negativo. Por el contrario, la velocidad del viento junto con los vientos del NO mostraron coeficientes positivos mientras que los vientos del SE y la frecuencia de calmas obtuvieron coeficientes negativos.

Tabla 3. 79. Coeficientes de correlación de Spearman para *Quercus* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.160** |
| Tmin | 0.109* |
| Tmed | 0.148** |
| Prec | -0.019 |
| HR | -0.289** |
| Vel viento | 0.241** |
| Viento NE | -0.073 |
| Viento SE | -0.181** |
| Viento SO | 0.101 |
| Viento NO | 0.167** |
| Frec calmas | -0.192** |
| Insolación | 0.311** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Rumex

Rumex tuvo un índice polínico anual de 845 granos de polen/m³ durante el periodo 2014-2015 mientras que el periodo 2015-2016 fue de 1049 granos de polen/m³ (tabla 3.80). Aunque estuvo presente desde febrero hasta noviembre dependiendo del año, las máxima presencia se observó el mes de mayo y junio (fig. 3.54), con 507 granos de polen/m³, en 2014 y 743 granos de polen/m³, durante 2015 durante mayo en ambos periodos de estudio. Los mínimos se localizaron en noviembre de 2014 con 2 granos de polen/m³, y los meses de febrero y septiembre con un grano de polen registrado en ambos casos.

Tabla 3. 80. Concentraciones mensuales totales de granos de *Rumex* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|-----|-----|-----|----|---|---|---|---|---|---|------|
| 2014/2015 | - | 3 | 216 | 507 | 91 | 13 | 9 | 6 | 9 | 2 | - | - | 845 |
| 2015/2016 | 1 | 13 | 136 | 743 | 131 | 16 | 3 | 1 | 3 | - | - | - | 1049 |

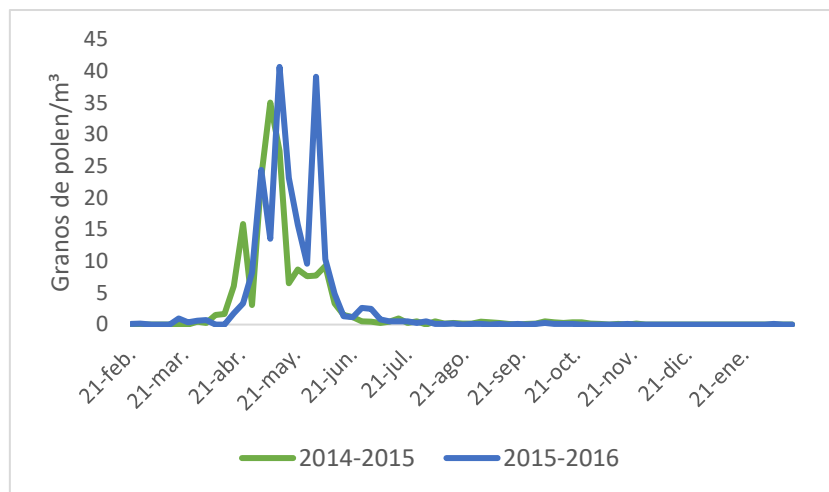


Figura 3. 54. Comportamiento estacional de granos de *Rumex* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

La duración del periodo principal de polinización estuvo enmarcada entre los meses de abril y septiembre (tabla 3.81), con unos pocos días de diferencia (inicio: 16 de abril de 2014 y 24 de abril de 2015; fin: 7 de septiembre de 2014 y 18 de septiembre de 2015). La duración del periodo principal también resultó ser muy similar con 145 días durante 2014-2015 y 148 días en el periodo 2015-2016. Las concentraciones registradas durante el PPP fueron inferiores en 2014-2015 con 760 granos de polen/m³, mientras que en 2015-2016 alcanzaron los 944 granos de polen/m³. La máxima concentración registrada en cada uno de los años casi sucedió el mismo día (6 de mayo de 2014 y 9 de mayo de 2015), con unas concentraciones máximas muy similares de 74 y 72 granos de polen/m³, respectivamente.

Tabla 3. 81. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Rumex* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 760 | 16-abr | 7-sep | 145 | 6-may | 74 |
| 2015-2016 | 944 | 24-abr | 18-sep | 148 | 9-may | 72 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Rumex mostró un patrón de distribución horaria (fig. 3.55) con un incremento hacia las horas centrales del día (10-16h) y otro de 19 a 22h, con un porcentaje superior al 6% en ambos casos, descendiendo sus porcentajes de representación a partir de las 23 horas hasta las 05h, cuando se registran los mínimos diarios (por debajo del 2%), manteniéndose en torno a esos valores hasta que comienza su incremento.

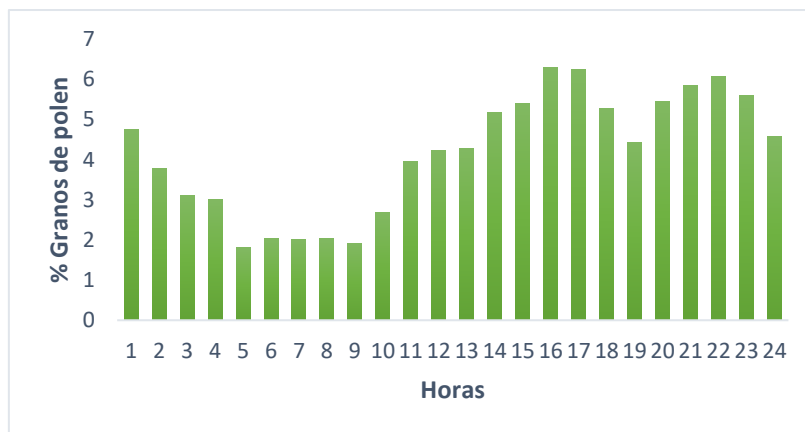


Figura 3. 55. Variación intradiaria de los granos de *Rumex* detectados en el periodo de estudio.

Rumex) únicamente obtuvo coeficientes de correlación positivos con la velocidad del viento a lo largo de su PPP (tabla 3.82). Las temperaturas junto con la frecuencia de calmas resultaron en coeficientes negativos al correlacionarlos con las concentraciones de este tipo de polen.

Tabla 3. 82. Coeficientes de correlación de Spearman para *Rumex* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.342** |
| Tmin | -0.377** |
| Tmed | -0.387** |
| Prec | 0.043 |
| HR | -0.015 |
| Vel viento | 0.209** |
| Viento NE | -0.068 |
| Viento SE | -0.031 |
| Viento SO | 0.075 |
| Viento NO | -0.031 |
| Frec calmas | -0.166** |
| Insolación | 0.047 |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Salix

El índice polínico anual fue muy similar en ambos periodos, con 711 granos de polen/m³, en 2014-2015 y de 752 granos de polen/m³, durante 2015-2016 (tabla 3.83). La presencia de *Salix* en la atmósfera se vio reducida a los meses de marzo, abril y mayo (figura 3.56), con las máximas concentraciones alcanzadas en marzo de 2014 con 490 granos de polen/m³ y 533 granos de polen/m³, durante 2015. Los mínimos quedaron registrados en mayo de 2014 con 38 granos de polen/m³, y en febrero de 2015 con un único grano de polen.

Tabla 3. 83. Concentraciones mensuales totales de granos de *Salix* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|-----|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | 490 | 183 | 38 | - | - | - | - | - | - | - | - | 711 |
| 2015/2016 | 1 | 533 | 211 | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | 752 |

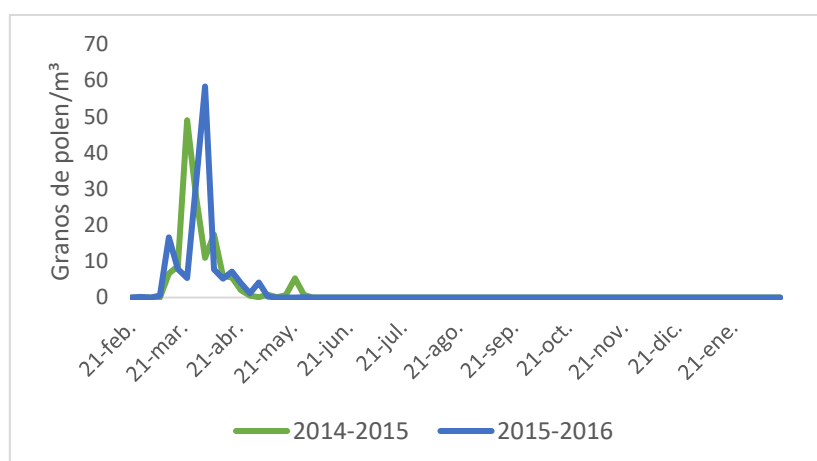


Figura 3. 56. Comportamiento estacional de granos de *Salix* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El periodo principal de polinización estuvo bastante ajustado en ambos periodos (tabla 3.84) comenzando con unos pocos días de diferencia de un año respecto al otro (15 de marzo de 2014 y 11 de marzo de 2015), aunque el final estuvo separado casi un mes (23 de mayo de 2014 y 28 de abril de 2015). La duración en este caso fue similar en ambos periodos de estudio con 70 días durante 2014-2015 y 49 en 2015-2016. El PPP obtuvo un índice polínico estacional muy similar en 2014-2015 (640 granos de polen/m³) y 2015-2016 (677 granos de polen/m³), con el día pico en fechas similares (24 de marzo de 2014 y 30 de marzo de 2015). Las concentraciones pico sin embargo no se aproximaron tanto (96 granos de polen/m³ en 2014 y 124 granos de polen/m³ en 2015).

Tabla 3. 84. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Salix* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 640 | 15-mar | 23-may | 70 | 24-mar | 96 |
| 2015-2016 | 677 | 11-mar | 28-abr | 49 | 30-mar | 124 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

En el estudio de la variación intradiaria de *Salix* (fig. 3.57), se pudo apreciar un incremento muy marcado desde las 10h hasta las 16h cuando se alcanza el máximo total diario por encima del 8%, disminuyendo su concentración de manera abrupta hasta las 22h. Tras esta hora se producen pequeños incrementos en el porcentaje de representación entre las 24-01h en torno al 4%, y otro entre las 06-07h, por debajo del 3%, alcanzando los valores mínimos del 1% a las 8h.

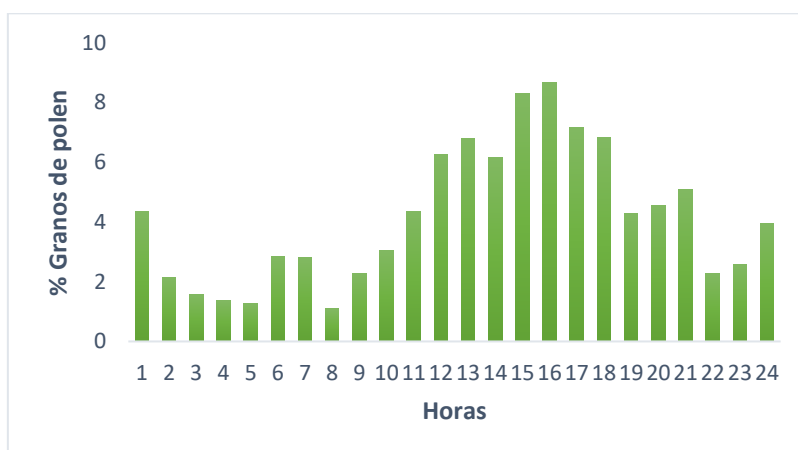


Figura 3. 57. Variación intradiaria de los granos de *Salix* detectados en el periodo de estudio.

Salix no obtuvo ningún coeficiente positivo a lo largo de su PPP (tabla 3.85), al realizar el análisis de correlación con los parámetros meteorológicos. Únicamente la temperatura mínima y media, junto con la insolación, resultaron en coeficientes de correlación negativos y significativos.

Tabla 3. 85. Coeficientes de correlación de Spearman para *Salix* y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | -0.172 |
| Tmin | -0.311** |
| Tmed | -0.293** |
| Prec | 0.053 |
| HR | 0.114 |
| Vel viento | 0.011 |
| Viento NE | 0.019 |
| Viento SE | 0.176 |
| Viento SO | -0.009 |
| Viento NO | -0.078 |
| Frec calmas | -0.106 |
| Insolación | -0.182* |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).

Niveles de significación: *95%; **99%.

Urticaceae

El índice polínico anual fue similar entre ambos periodos, siendo en 2014-2015 de 407 granos de polen/m³, respecto a 512 granos de polen/m³, en 2015-2016 (tabla 3.86). Los granos de polen de la familia Urticaceae aparecieron en las muestras a lo largo de todo el periodo de estudio con variación en los meses donde se detectan las máximas concentraciones (fig. 3.58). Durante 2014 se registraron 185 granos de polen/m³, en mayo mientras que en 2015 fue en junio el máximo, con 150 granos de polen/m³. Los mínimos estuvieron repartidos entre febrero y enero de 2014-2015 con un único grano de polen y durante 2015-2016 los meses de febrero y octubre con 3 granos de polen/m³.

Tabla 3. 86. Concentraciones mensuales totales de granos de Urticaceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|----|-----|-----|-----|----|----|---|----|----|----|-----|
| 2014/2015 | 1 | 48 | 49 | 185 | 48 | 34 | 12 | 2 | 3 | 18 | 5 | 1 | 407 |
| 2015/2016 | 3 | 14 | 36 | 99 | 150 | 106 | 53 | 10 | 3 | 6 | 15 | 12 | 512 |

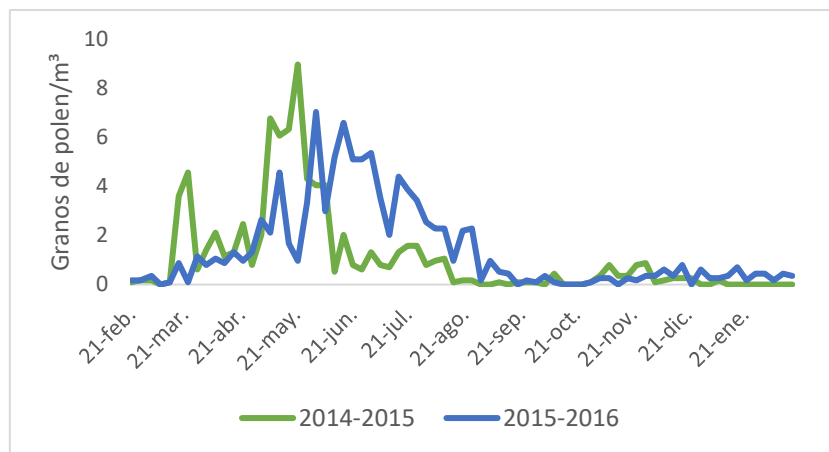


Figura 3. 58. Comportamiento estacional de granos de Urticaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El inicio del PPP está bien definido en marzo (tabla 3.87) con unos pocos días de diferencia (día 18 en 2014 y día 11 en 2015), estando el final prolongado en 2015 hasta el 13 de febrero de 2016, mientras que en 2014 ocurrió el 9 de noviembre. La duración del periodo principal fue de 237 días en 2014-2015 y de 348 días durante 2015-2016. El índice polínico estacional durante 2014-2015 fue de 366 granos de polen/m³, mientras que en 2015-2016 fue superior con 461 granos de polen/m³. Los días de máxima concentración también mostraron disparidad, estando situados el 18 de marzo de 2014 y 31 de mayo de 2015, con unas concentraciones máximas de 18 y 12 granos de polen/m³, respectivamente.

Tabla 3. 87. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Urticaceae registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 366 | 18-mar | 9-nov | 237 | 18-mar | 18 |
| 2015-2016 | 461 | 11-mar | 13-feb | 348 | 31-may | 12 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

El patrón intradiario de Urticaceae (fig. 3.59) mostró un incremento muy marcado entre las 11 y las 13h, alcanzando su máximo por encima del 9%. Igualmente el descenso a partir de esta hora es abrupto, con subidas y bajadas regulares en las concentraciones hasta las 23h, descendiendo de nuevo de forma brusca a las 24h. Se registra un pequeño incremento entre las 24-01h de apenas el 1%, pero se mantienen a partir de entonces las concentraciones mínimas diarias hasta las 06h con un 1% del total diario.

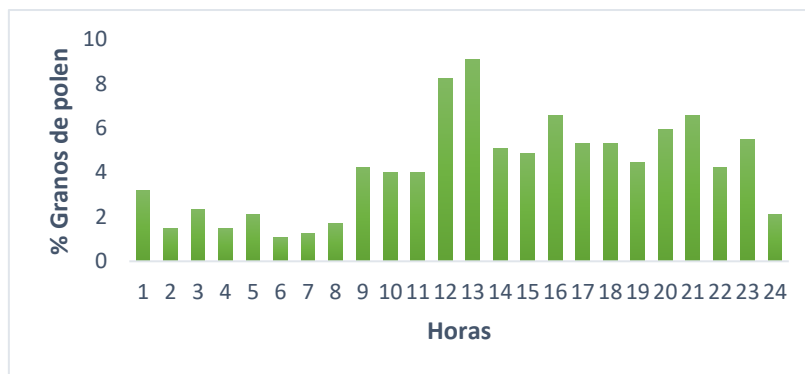


Figura 3. 59. Variación intradiaria de los granos de Urticaceae detectados en el periodo de estudio.

El análisis de correlaciones con parámetros meteorológicos de Urticaceae durante su periodo principal de polinización (tabla 3.88), obtuvo como resultado coeficientes positivos y significativos con las temperaturas y la insolación. Mientras que las precipitaciones, junto con la humedad relativa, resultaron en coeficientes negativos, el parámetro de los vientos sólo alcanzó niveles de significación positivos con la velocidad, aunque de bajo valor, y los vientos del NO, siendo negativos para la frecuencia de calmas y los vientos del SE.

Tabla 3. 88. Coeficientes de correlación de Spearman para Urticaceae y los parámetros meteorológicos.

| | 2014/2015 |
|--------------------|-----------|
| Tmax | 0.289** |
| Tmin | 0.240** |
| Tmed | 0.288** |
| Prec | -0.145** |
| HR | -0.341** |
| Vel viento | 0.162** |
| Viento NE | 0.010 |
| Viento SE | -0.136** |
| Viento SO | -0.037 |
| Viento NO | 0.228** |
| Frec calmas | -0.187** |
| Insolación | 0.390** |

Tmax: temperatura máxima diaria (°C); **Tmin:** temperatura mínima diaria (°C); **Tmed:** temperatura media diaria (°C); **Prec:** precipitación total diaria (mm); **HR:** humedad relativa media diaria (%); **Vel viento:** velocidad media diaria (km/h); **Viento NE:** frecuencia media diaria de vientos del noreste (%); **Viento SE:** frecuencia media diaria de vientos del sureste (%); **Viento SO:** frecuencia media diaria de vientos del suroeste (%); **Viento NO:** frecuencia media diaria de vientos del noroeste (%); **Frec calmas:** frecuencia media diaria de vientos en calma (%); **Insolación:** insolación total diaria (horas).
Niveles de significación: *95%; **99%.

PORCENTAJE DE REPRESENTACION MEDIO ENTRE 0,4 Y 0,05%

En este apartado se incluyen: *Ailanthus*, Apiaceae, *Artemisia*, Asteraceae (=Compositae, excepto Liguliflora) *Betula*, *Cedrus*, *Corylus*, Cyperaceae, *Echium*, *Junglans* Liguliflora, *Ligustrum*, Rosaceae, Thymelaceae y *Ulmus*.

Ailanthus

El índice polínico anual durante el periodo 2014-2015 fue de 78 granos de polen/m³, mientras que la concentración fue de 134 granos de polen/m³, durante 2015-2016 (tabla 3.89).

Tabla 3. 89. Concentraciones mensuales totales de granos de *Ailanthus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|----|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | 1 | 68 | 8 | - | - | - | - | - | 1 | - | 78 |
| 2015/2016 | - | - | 16 | 101 | 17 | - | - | - | - | - | - | - | 134 |

En ambos periodos de estudio las concentraciones registradas estuvieron entre los meses de abril, mayo y junio, con un único grano en diciembre de 2014 (figura 3.60). Los máximos se registraron durante mayo en ambos periodos (68 granos de polen/m³, durante 2014-2015 y 101 granos de polen/m³, en 2015-2016) y los mínimos se obtuvieron en abril y junio con 1 y 8 granos de polen/m³, en 2014-2015 y 16 y 17 granos de polen/m³, durante 2015-2016, respectivamente.

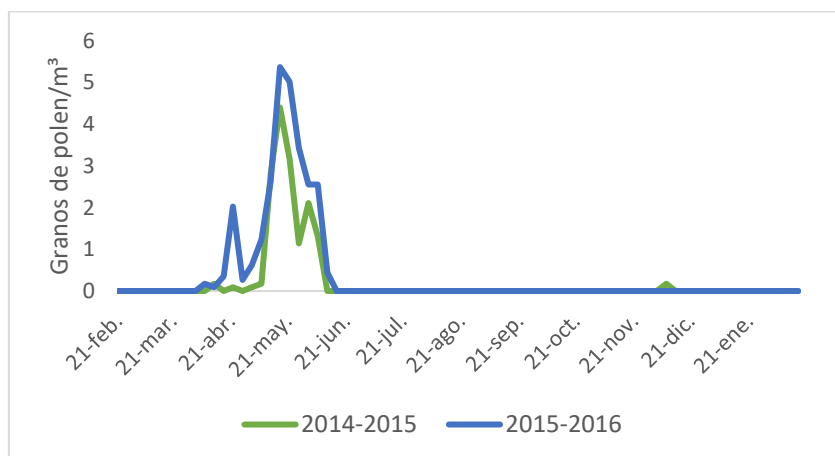


Figura 3. 60. Comportamiento estacional de granos de *Ailanthus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Aunque las fechas de inicio del PPP sucedieron con tres semanas de diferencia (8 de mayo de 2014 y 21 de abril de 2015) el final tuvo lugar en junio, con tres días de diferencia solamente (día 3 en 2014-2015 y día 6 durante 2015-2016) como puede observarse en la tabla 3.90. El índice polínico estacional fue de 70 granos de polen/m³, durante 2014-2015, mientras que en 2015-2016

fue de 121 granos de polen/m³. Aunque la duración fue mayor en 2015-2016 con 47 días respecto a los 27 de 2014-2015, el día pico ocurrió en mayo, los días 16 de 2014 y 13 de 2015, con concentraciones máximas de 11 y 9 granos de polen/m³, respectivamente.

Tabla 3. 90. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Ailanthus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 70 | 8-may | 3-jun | 27 | 16-may | 11 |
| 2015-2016 | 121 | 21-abr | 6-jun | 47 | 13-may | 9 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Apiaceae (=Umbeliferae)

El índice polínico anual de 2014-2015 (83 granos de polen/m³) fue bastante similar al de 2015-2016 (93 granos de polen/m³), como se observa en la tabla 3.91.

Tabla 3. 91. Concentraciones mensuales totales de granos de *Apiaceae* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | - | - | - | 46 | 5 | 7 | 16 | 7 | 1 | - | 1 | - | 83 |
| 2015/2016 | - | 1 | 1 | 33 | 15 | 24 | 15 | 3 | 1 | - | - | - | 93 |

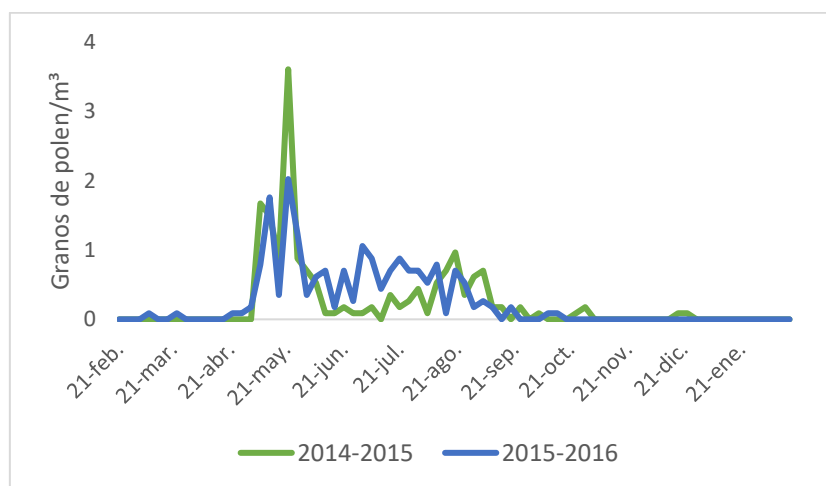


Figura 3. 61. Comportamiento estacional de granos de *Apiaceae* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El aporte mayoritario de granos de polen tuvo lugar durante el mes de mayo de ambas anualidades (fig. 3.61), registrándose los valores máximos en este mes (46 granos de polen/m³, en 2014-2015 y 33 granos de polen/m³, en 2015-2016). Los mínimos estuvieron repartidos a lo largo de los meses de octubre, diciembre, marzo y abril, solamente con un grano de polen/m³, en uno de los periodos o en ambos como sucedió en octubre, y los meses de enero, febrero y noviembre de ambos periodos sin captar ningún grano de polen.

El periodo principal de este polen fue bastante similar tanto en sus fechas de inicio (7 de mayo de 2014 y 6 de mayo de 2015) como en el final (13 de septiembre de 2014 y 8 de septiembre de 2015), alcanzándose una duración muy pareja de 130 días en 2014-2015 y 126 durante 2015-2016. El índice polínico estacional fue de 75 granos de polen/m³, durante 2014-2015, siendo de 83 granos de polen/m³, en 2015-2016. Como se refleja en la tabla 3.92, los picos estuvieron marcados los días 7 de mayo de 2014 y 9 de mayo de 2015, con 8 y 7 granos de polen/m³, respectivamente.

Tabla 3. 92. *Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Apiaceae registrados a lo largo del estudio.*

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 75 | 7-may | 13-sep | 130 | 7-may | 8 |
| 2015-2016 | 83 | 6-may | 8-sep | 126 | 9-may | 7 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Artemisia

El conjunto anual de granos de polen en el periodo 2014-2015 (40 granos de polen/m³) fue algo inferior de la mitad del obtenido en 2015-2016 (89 granos de polen/m³), como se recoge en la tabla 3.93.

Tabla 3. 93. *Concentraciones mensuales totales de granos de Artemisia capturados durante el muestreo.*

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | - | - | - | 1 | 1 | 7 | 11 | 8 | 4 | 7 | 1 | - | 40 |
| 2015/2016 | - | - | - | 5 | 1 | 14 | 30 | 23 | 10 | 1 | 2 | 1 | 89 |

Si bien se registraron granos desde marzo hasta diciembre durante ambos periodos de muestreo, la mayor parte fueron capturados durante los meses de julio, agosto y septiembre (figura 3.62), con los máximos recogidos en agosto con 11 granos de polen/m³, durante 2014-2015 y 30 granos de polen/m³, en 2015-2016. Los mínimos estuvieron repartidos entre mayo, junio y diciembre de 2014 con 1 grano de polen/m³, y en junio, noviembre y enero de 2015-2016 con el mismo total.

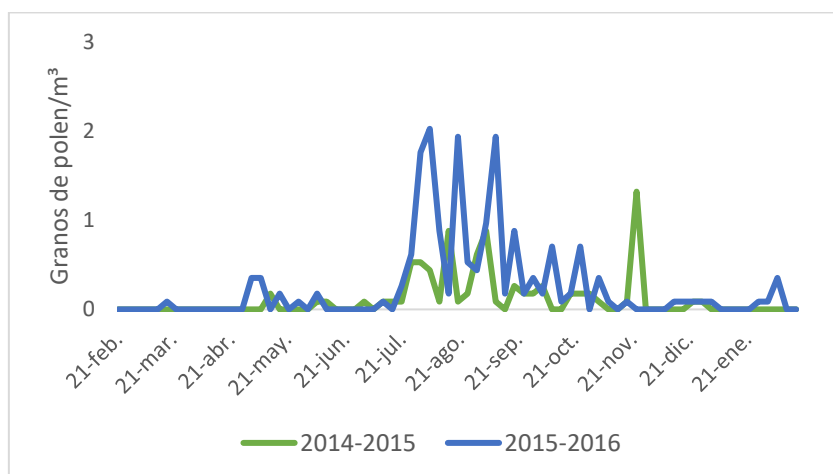


Figura 3. 62. Comportamiento estacional de granos de *Artemisia* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Las fechas de inicio del periodo principal de *Artemisia* tuvieron lugar en el mes de mayo (el día 7 en 2014 y el 16 en 2015), aunque el final estuvo marcado por casi un mes de diferencia (23 de noviembre de 2014 frente al 31 de diciembre de 2015) (tabla 3.94). El índice polínico estacional fue de 36 granos de polen/m³, durante 2014-2015, mientras que en el periodo siguiente el índice fue de 80 granos de polen/m³. Los días pico estuvieron separados un mes siendo el 1 de septiembre de 2014, con una concentración máxima de 2 granos de polen/m³ y el 31 de julio de 2015, con una concentración de 5 granos de polen/m³. La duración fue superior durante 2015-2016 con 230 días mientras que el periodo anterior fue de 170 días.

Tabla 3. 94. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Artemisia* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 36 | 7-may | 23-nov | 170 | 1-sep | 2 |
| 2015-2016 | 80 | 16-may | 31-dic | 230 | 31-jul | 5 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Asteraceae (=Compositae)

Durante el periodo 2014-2015 el índice polínico anual fue de 71 granos de polen/m³, mientras que en 2015-2016 el total anual fue de 174 granos de polen/m³, como se muestra en la tabla 3.95.

Tabla 3. 95. Concentraciones mensuales totales de granos de Asteraceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | 1 | 3 | 6 | 6 | 11 | 9 | 8 | 9 | 7 | 5 | 2 | 2 | 71 |
| 2015/2016 | 2 | 1 | 1 | 37 | 49 | 29 | 29 | 10 | 9 | 4 | 2 | 2 | 174 |

A pesar de registrarse granos de polen a lo largo de todo el periodo de estudio (figura 3.63), los máximos tuvieron lugar durante el mes de junio con 11 granos de polen/m³, en 2014-2015 y 49 granos de polen/m³ en 2015-2016. Los mínimos estuvieron presentes durante febrero de 2014 con un grano/m³ y durante marzo y abril de 2015 con la misma cantidad.

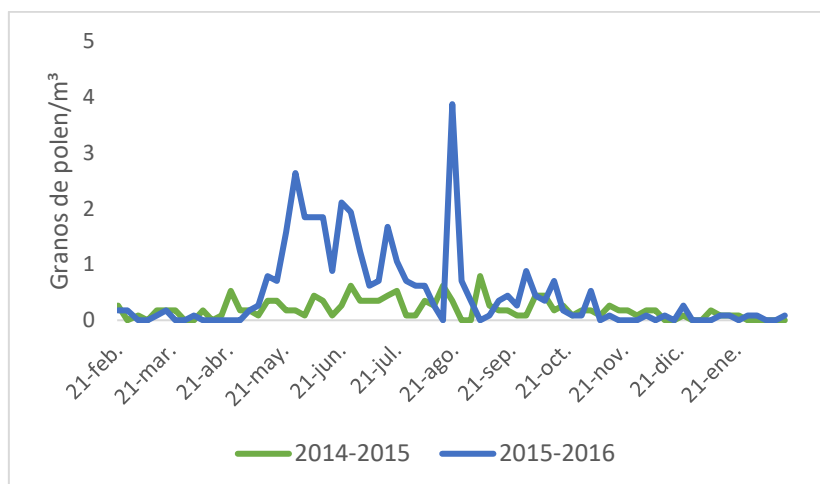


Figura 3. 63. Comportamiento estacional de granos de Asteraceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El inicio de ambos PPP sucedió en fechas algo distantes (15 de marzo de 2014 y 12 de mayo de 2015), con su final ligeramente más próximo (2 de diciembre de 2014 y 12 de noviembre de 2015) (tabla 3.96). El índice polínico estacional fue de 64 granos de polen/m³, en el periodo 2014-2015, mientras que en el siguiente fue de 157 granos de polen/m³. La fecha del día pico también ocurrió en meses diferentes siendo el 1 de septiembre de 2014, adelantándose al 20 de agosto de 2015, con 3 y 18 granos de polen/m³ respectivamente siendo la duración del periodo igualmente dispar con 263 días durante 2014-2015, frente a 185 días en 2015-2016.

Tabla 3. 96. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Asteraceae registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 64 | 15-mar | 2-dic | 263 | 1-sep | 3 |
| 2015-2016 | 157 | 12-may | 12-nov | 185 | 20-ago | 18 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Betula

El índice polínico anual fue de 152 granos de polen/m³, durante el periodo 2014-2015 y de 121 granos de polen/m³, durante el periodo 2015-2016, como se observa en la tabla 3.97.

Tabla 3. 97. Concentraciones mensuales totales de granos de Betula capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|
| 2014/2015 | - | 9 | 132 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 4 | 152 |
| 2015/2016 | 6 | 26 | 69 | 3 | - | - | - | - | - | - | 3 | 14 | 121 |

Los registros de este tipo de polen tuvieron lugar durante los meses de marzo y abril de forma mayoritaria (figura 3.64), registrándose los máximos en abril con 132 granos de polen/m³, en 2014-2015 y 69 granos de polen/m³, en 2015-2016. Los mínimos se capturaron en mayo de 2014, con dos granos de polen/m³ y 3 granos de polen/m³, en los meses de mayo y diciembre de 2015, desapareciendo prácticamente en la segunda mitad de ambos años.

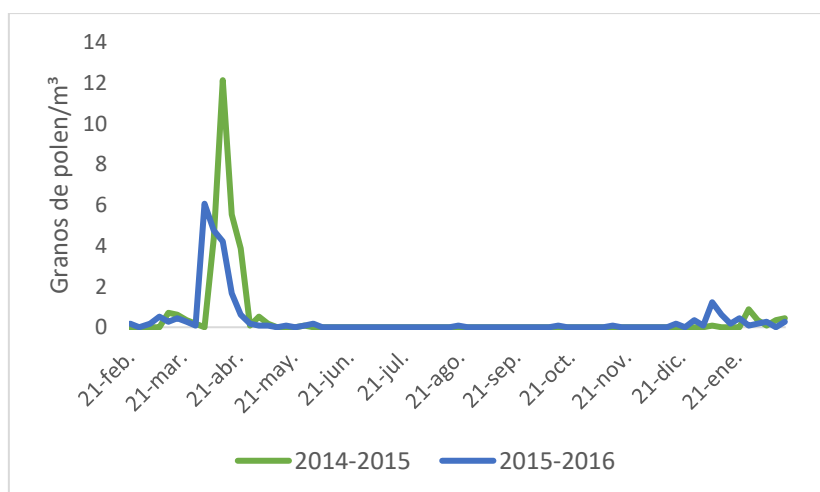


Figura 3. 64. Comportamiento estacional de granos de Betula detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El PPP de este polen estuvo marcado por un inicio y final en fechas muy similares ocurriendo en marzo y mayo (inicio: 20 de marzo de 2014 y 14 de marzo de 2015; fin: 23 de mayo de 2014 y 28 de mayo de 2015), respectivamente (tabla 3.98), con una duración bastante similar del periodo resultando en 65 días durante 2014-2015 y 76 en 2015-2016. El índice polínico estacional fue de 137 granos de polen/m³, en 2014-2015, siendo de 109 granos de polen/m³, en el periodo siguiente. Los días pico se alcanzaron con casi un mes de diferencia (10 de abril en 2014 y 21 de marzo en 2015) y sus valores fueron de 25 granos de polen/m³, en el primer periodo respecto a 17 granos de polen/m³, del segundo.

Tabla 3. 98. *Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Betula registrados a lo largo del estudio.*

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 137 | 20-mar | 23-may | 65 | 10-abr | 25 |
| 2015-2016 | 109 | 14-mar | 28-may | 76 | 21-mar | 17 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Cedrus

Durante el periodo 2014-2015 se registró un índice polínico anual de 50 granos de polen/m³, mientras que durante el periodo 2015-2016 esta cifra se cuadruplicó (205 granos de polen/m³) (tabla 3.99).

Tabla 3. 99. *Concentraciones mensuales totales de granos de Cedrus capturados durante el muestreo.*

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | - | - | - | - | - | - | 3 | 18 | 26 | 2 | 1 | - | 50 |
| 2015/2016 | - | - | - | - | - | - | 18 | 33 | 77 | 71 | 6 | - | 205 |

El registro de granos de polen tuvo lugar de agosto a diciembre durante ambos años de estudio (fig. 3.65) y en ambos casos el máximo tuvo lugar durante el mes de octubre, con 26 granos de polen/m³, en 2014-2015 y 77 granos de polen/m³, durante 2015. Los mínimos se registraron en diciembre de ambos periodos con 1 grano de polen/m³, en 2014-2015 y 6 granos de polen/m³, durante 2015-2016.

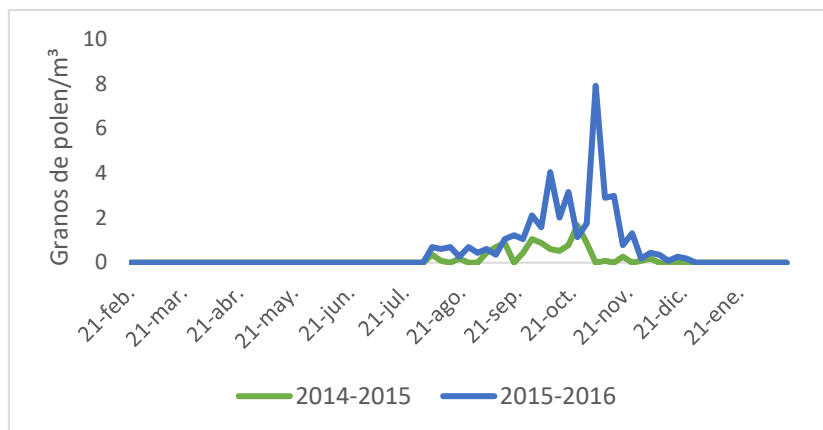


Figura 3. 65. Comportamiento estacional de granos de *Cedrus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

El inicio del periodo principal de polinización de ambos años se localizó en fechas casi idénticas (16 de agosto de 2014 y 17 de agosto de 2015), con una finalización algo distante, pero coincidiendo también en el mismo mes de diciembre (día 3 en 2014 y día 18 durante 2015) (tabla 3.100). El índice polínico estacional fue de 46 granos de polen/m³, en 2014-2015, mientras que durante el periodo 2015-2016, el índice polínico estacional fue de 184 granos de polen/m³. La duración del periodo fue bastante similar con 110 días durante 2014-2015 y 124 días en 2015-2016. Los días pico no estuvieron muy distantes en 2014 comparado a 2015 (24 de octubre y 1 de noviembre, respectivamente), pero las concentraciones alcanzadas fueron diferentes con 5 granos de polen/m³ el primer periodo y 27 granos de polen/m³ en el segundo.

Tabla 3. 100. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Cedrus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 46 | 16-ago | 3-dic | 110 | 24-oct | 5 |
| 2015-2016 | 184 | 17-ago | 18-dic | 124 | 1-nov | 27 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Corylus

Durante el periodo 2014-2015 se registró un índice polínico anual de 97 granos de polen/m³, mientras que durante el periodo 2015-2016 la cifra aumentó hasta 133 granos de polen/m³ (tabla 3.101).

Tabla 3. 101. Concentraciones mensuales totales de granos de *Corylus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|
| 2014/2015 | 6 | 46 | 19 | 6 | - | - | - | - | - | - | - | 12 | 97 |
| 2015/2016 | 26 | 37 | 16 | 2 | - | - | - | - | - | - | 2 | 25 | 133 |

El registro de estos granos de polen ocurrió en su mayoría los meses de enero, febrero y marzo (figura 3.66), siendo recogidas en este último mes las concentraciones máximas mensuales (46 granos de polen/m³, en 2014 y 37 granos de polen/m³, en 2015).

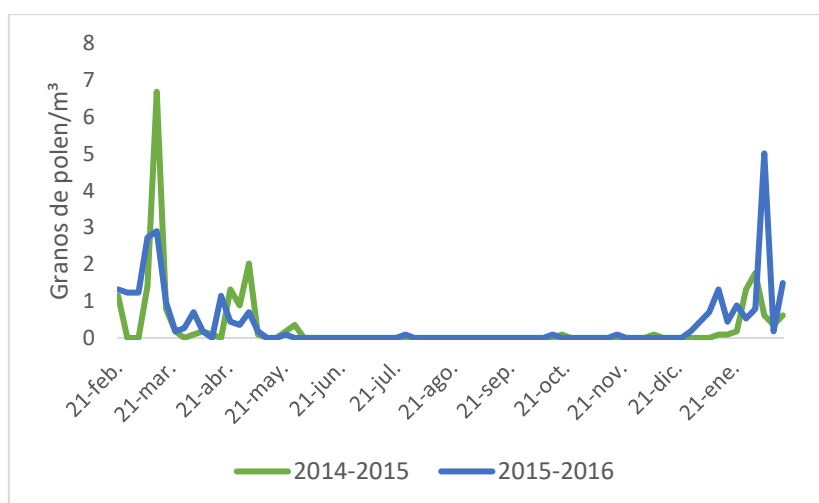


Figura 3. 66. Comportamiento estacional de granos de *Corylus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Este PPP no fue calculado (tabla 3.102) debido a que la distribución de este polen sucedió en los meses donde nuestro estudio se iniciaba y finalizaba a mitad de mes, sin registros prácticamente desde mayo hasta diciembre. El día pico sí que se calculó para los años completos de estudio registrándose el día 12 de marzo de 2014 con 11 granos de polen/m³ y el 3 de febrero de 2016 con 20 granos de polen/m³.

Tabla 3. 102. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Corylus* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|-----|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | - | - | - | - | 12-mar | 11 |
| 2015-2016 | - | - | - | - | 3-feb | 20 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Cyperaceae

Durante el periodo 2014-2015 el índice polínico anual fue de 65 granos de polen/m³ y de 77 granos de polen/m³, durante el periodo 2015-2016, como se refleja en la tabla 3.103.

Tabla 3. 103. Concentraciones mensuales totales de granos de Cyperaceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | 9 | 25 | 12 | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 | - | - | 65 |
| 2015/2016 | - | - | 4 | 11 | 43 | 16 | 3 | - | - | - | - | - | 77 |

La mayor de estos granos de polen fueron registrados durante mayo de 2014 y junio de 2015 (figura 3.67), coincidiendo con los máximos en ambos meses (25 granos de polen/m³, en mayo de 2014 y 43 granos de polen/m³, en junio de 2015). La presencia de Cyperaceae en la atmósfera se alargó debido a la captación de un único grano de polen total mensual durante septiembre, octubre y noviembre de 2014, siendo los mínimos del primer periodo, estando en agosto el mínimo para el periodo 2015-2016 con 3 granos de polen/m³.

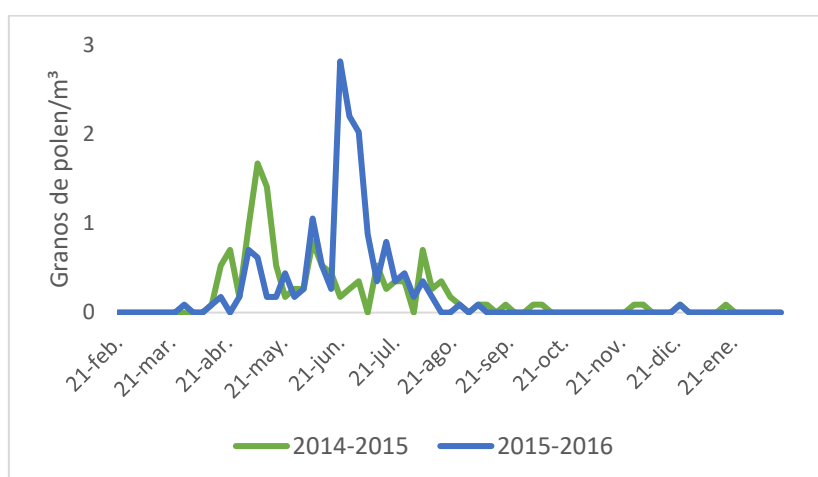


Figura 3. 67. Comportamiento estacional de granos de Cyperaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Las fechas de inicio y fin del PPP ocurrieron en los mismos meses (inicio: 17 de abril de 2014 y 29 de abril de 2015; fin: 16 de septiembre de 2014 y 1 de septiembre de 2015), como muestra la tabla 3.104, aunque con una duración mayor durante 2014-2015 con 153 días frente a 126 días de 2015-2016. El índice polínico estacional fue de 59 granos de polen/m³, en el periodo 2014-2015, siendo de 69 granos de polen/m³, en 2015-2016. El día pico, sin embargo, ocurrió con más de un mes de diferencia, siendo el 6 de mayo de 2014, con 3 granos de polen/m³ y el 20 de junio de 2015, con 5 granos de polen/m³.

Tabla 3. 104. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Cyperaceae* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 59 | 17-abr | 16-sep | 153 | 6-may | 3 |
| 2015-2016 | 69 | 29-abr | 1-sep | 126 | 20-jun | 5 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Echium

Durante el periodo de estudio 2014-2015 el índice polínico anual fue de 94 granos de polen/m³, mientras que durante el periodo 2015-2016 se recogieron 178 granos de polen/m³ (tabla 3.105).

Tabla 3. 105. Concentraciones mensuales totales de granos de *Echium* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | - | 75 | 13 | 5 | 1 | - | - | - | - | - | 94 |
| 2015/2016 | - | 1 | 6 | 72 | 73 | 17 | 7 | 1 | 1 | - | - | - | 178 |

Aunque los totales fueron dispares, la máxima concentración de granos de polen fue recogida durante el mismo mes de mayo en ambos años de estudio con totales mensuales muy similares (75 granos de polen/m³, en 2014 y 72 granos de polen/m³, en 2015). Los mínimos se recogieron en agosto de 2014 con 1 granos de polen/m³, mientras que fue en marzo, septiembre y octubre cuando se registró el mínimo en 2015 con la misma cantidad (figura 3.68).

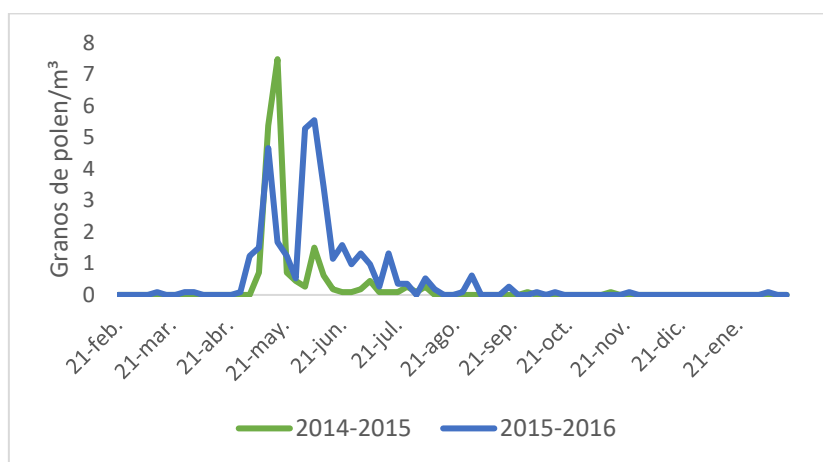


Figura 3. 68. Comportamiento estacional de granos de *Echium* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Este PPP tuvo su inicio en el mismo mes siendo el 8 de mayo en 2014 atrasándose cinco días en 2015 (tabla 3.106). Además el final del periodo sucedió el 3 de agosto de 2014 alargándose hasta el 16 de septiembre de 2015, ocasionando una duración de 88 días durante 2014-2015 y de 137 días en 2015-2016. El índice polínico estacional fue de 85 granos de polen/m³, durante 2014-2015, mientras que al periodo siguiente el índice fue de 160 granos de polen/m³. El día pico sin embargo se obtuvo el mismo mes con concentraciones similares, siendo el 14 de mayo con 15 granos de polen/m³, durante 2014-2015 y el 31 de mayo de 2015-2016 con 11 granos de polen/m³.

Tabla 3. 106. *Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Echium registrados a lo largo del estudio.*

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|-----------------|----------------------|
| 2014-2015 | 85 | 8-may | 3-ago | 88 | 14-may | 15 |
| 2015-2016 | 160 | 3-may | 16-sep | 137 | 31-may | 11 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Junglans

El índice polínico anual fue de 21 granos de polen/m³, durante 2014-2015 y de 34 granos de polen/m³, durante el periodo 2015-2016, tal y como recoge la tabla 3.107.

Tabla 3. 107. *Concentraciones mensuales totales de granos de Junglans capturados durante el muestreo.*

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | - | - | 18 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 21 |
| 2015/2016 | - | - | 9 | 22 | - | - | - | - | - | - | - | 3 | 34 |

Las aportaciones de granos de polen tuvieron lugar durante los meses de abril y mayo (figura 3.69), registrándose pequeñas cantidades durante enero de 2015 y 2016 (1 y 3 granos de polen/m³, respectivamente), constituyendo los mínimos en este mes para ambos periodos. Los máximos se obtuvieron durante abril de 2014 con 18 granos de polen/m³ y en mayo de 2015 con 22 granos de polen/m³.

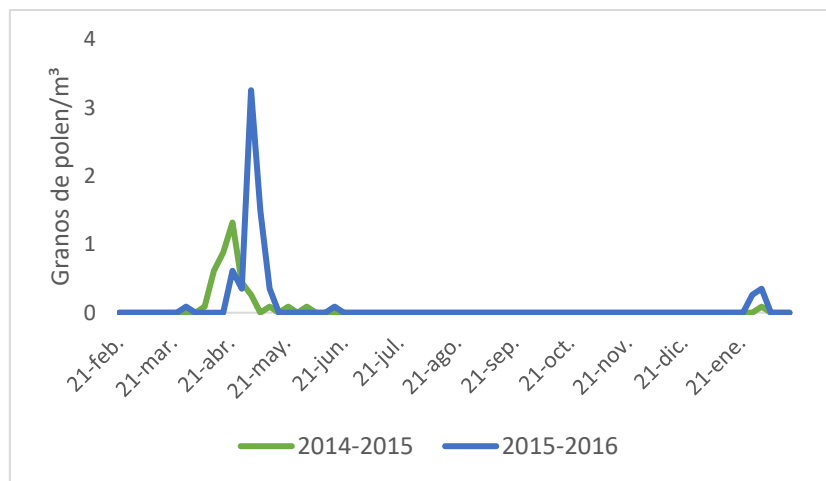


Figura 3. 69. Comportamiento estacional de granos de *Junglans* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Mientras que el inicio del PPP tuvo lugar en fechas similares durante los dos años (9 de abril de 2014 y 21 de abril de 2015), el final del periodo ocurrió a finales de mayo en el primer año y a mediados de junio en el segundo (tabla 3.108). Ello supuso una pequeña diferencia de apenas cuatro días en la duración de ambos periodos (53 días en 2014-2015, frente a los 57 de 2015-2016). El índice polínico estacional fue de 18 granos de polen/m³, en el periodo 2014-2015, estando en 30 granos de polen/m³, durante 2015-2016. El día pico de 2014 sí que varió respecto a 2015 tanto en fecha como en cantidad, siendo el 22 de abril, con 3 granos de polen/m³ el primer año y el 2 de mayo de 2015, con 10 granos de polen/m³.

Tabla 3. 108. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Junglans* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 18 | 9-abr | 31-may | 53 | 22-abr | 3 |
| 2015-2016 | 30 | 21-abr | 16-jun | 57 | 2-may | 10 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Liguliflora

Durante el periodo de estudio 2014-2015 se registró un índice polínico anual de 26 esporas/m³ mientras que en el siguiente periodo de estudio fue de 61 granos de polen/m³ (tabla 3.109).

Tabla 3. 109. Concentraciones mensuales totales de granos de *Liguliflora* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | 2 | 4 | 8 | 2 | 6 | 2 | 2 | - | - | - | 26 |
| 2015/2016 | - | - | 1 | 15 | 21 | 13 | 6 | 3 | 2 | - | - | - | 61 |

A pesar de registrar granos de polen desde abril hasta octubre en ambos periodos (figura 3.70), la mayor aportación ocurrió en junio con 8 granos de polen/m³ durante 2014 y 21 granos de polen/m³, durante 2015. Los mínimos se registraron en abril, julio, septiembre y octubre de 2014 con dos granos de polen/m³, mientras que en 2015-2016 el mínimo se obtuvo en abril con 1 grano de polen/m³.

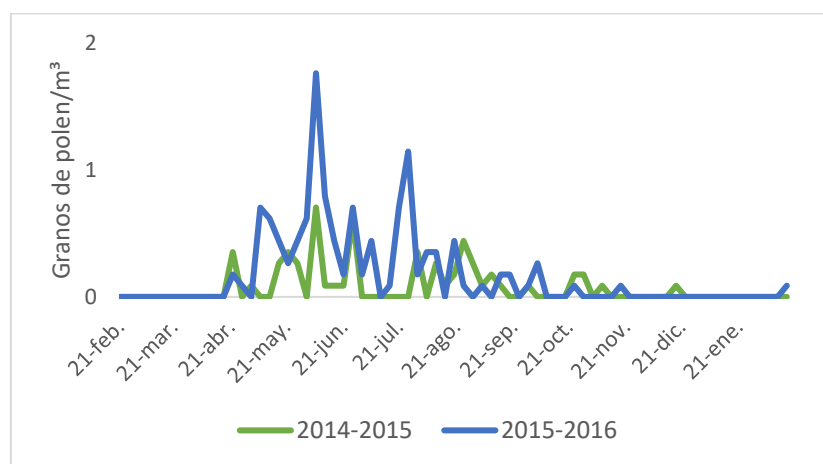


Figura 3. 70. Comportamiento estacional de granos de *Liguliflora* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Mientras que el PPP de este polen no tuvo muchas diferencias en el final del periodo, ocurriendo durante el mismo mes (23 de octubre de 2014 y 20 de octubre de 2015), el inicio se vio retrasado en algo más de dos semanas, el segundo periodo respecto al primero (tabla 3.110). La duración del periodo fue mayor durante 2014-2015 con 188 días, frente a los 167 días de 2015-2016. El índice polínico estacional fue de 24 granos de polen/m³, en 2014-2015, mientras que en el siguiente periodo fue más del doble con 55 granos de polen/m³. El día pico se registró con un mes de diferencia siendo el 22 de junio de 2014, con 3 granos de polen/m³ y el 23 de julio de 2015, con 4 granos de polen/m³.

Tabla 3. 110. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Liguliflora* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 24 | 19-abr | 23-oct | 188 | 22-jun | 3 |
| 2015-2016 | 55 | 7-may | 20-oct | 167 | 23-jul | 4 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Ligustrum

Durante el periodo 2014-2015 el índice total anual de granos de polen recogidos fue de 30 granos de polen/m³ mientras que durante el periodo 2015-2016 se registraron un poco más del doble (68 granos de polen/m³) (tabla 3.111). La mayor parte de los granos se capturaron durante los meses de abril, mayo y junio, (figura 3.71).

Tabla 3. 111. Concentraciones mensuales totales de granos de *Ligustrum* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | 7 | 10 | 4 | 1 | - | 1 | 3 | 3 | 1 | - | 30 |
| 2015/2016 | - | 3 | 21 | 20 | 14 | 5 | - | 1 | - | - | 1 | 2 | 68 |

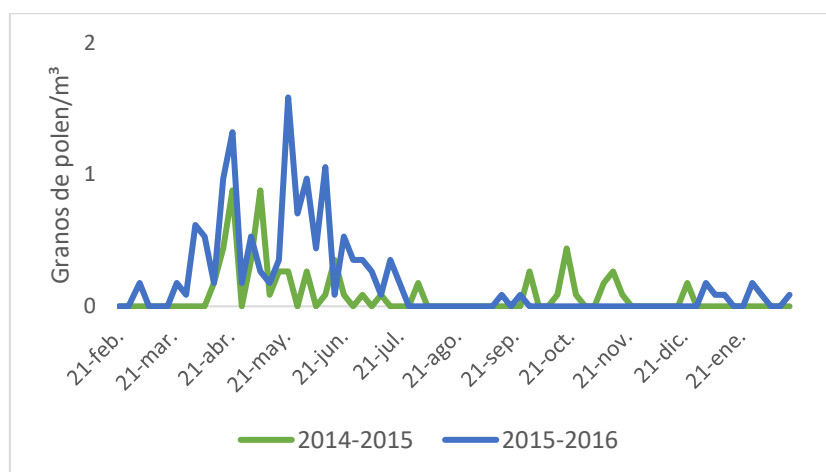


Figura 3. 71. Comportamiento estacional de granos de *Ligustrum* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

A lo largo de la segunda mitad de año se registraron pequeñas concentraciones oscilando entre 1 y 5 granos de polen/m³. Los máximos estuvieron recogidos en mayo de 2014 con 10 granos de

polen/m³, y en abril de 2015 con 21 granos de polen/m³, estando los mínimos repartidos entre julio, septiembre y diciembre de 2014 con 1 grano de polen/m³ y en septiembre y diciembre de 2015 con la misma cantidad.

El PPP de este tipo polínico tuvo una fecha de inicio similar, ocurriendo en abril en ambos años de estudio (16 de abril de 2014 y 1 de abril de 2015) (tabla 3.112). Las fechas de finalización se registraron con un mes de diferencia (16 de octubre de 2014 y 13 de septiembre de 2015), ampliando la duración de periodo en 2014-2015 con 184 días respecto a 166 días durante 2015-2016. El índice polínico estacional fue de 27 granos de polen/m³, en el primer periodo, mientras que para 2015-2016 fue de 61 granos de polen/m³. El día pico se alcanzó exactamente con un mes de diferencia siendo el 21 de abril, con 3 granos de polen/m³, durante 2014 y el 21 de mayo, con 4 granos de polen/m³ el 2015.

Tabla 3. 112. *Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Ligustrum registrados a lo largo del estudio.*

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 27 | 16-abr | 16-oct | 184 | 21-abr | 3 |
| 2015-2016 | 61 | 1-abr | 13-sep | 166 | 21-may | 4 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Rosaceae

El índice polínico anual durante el periodo 2014-2015 fue de 29 granos de polen/m³, mientras que para el periodo 2015-2016 fue tres veces superior (101 granos de polen/m³), como expone la tabla 3.113.

Tabla 3. 113. *Concentraciones mensuales totales de granos de Rosaceae capturados durante el muestreo.*

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2014/2015 | - | - | - | 18 | 6 | 3 | 1 | - | 1 | - | - | - | 29 |
| 2015/2016 | - | 3 | 55 | 4 | 24 | 11 | 3 | 1 | - | - | - | - | 101 |

La distribución de los granos de polen tuvo lugar desde abril hasta agosto (figura 3.72), con las mayores aportaciones registradas durante los meses de marzo de 2014 y abril de 2015 (18 y 55 granos de polen/m³, respectivamente). Los mínimos estuvieron repartidos entre agosto y octubre de 2014 con 1 grano de polen/m³ y en septiembre de 2015 con la misma cantidad.

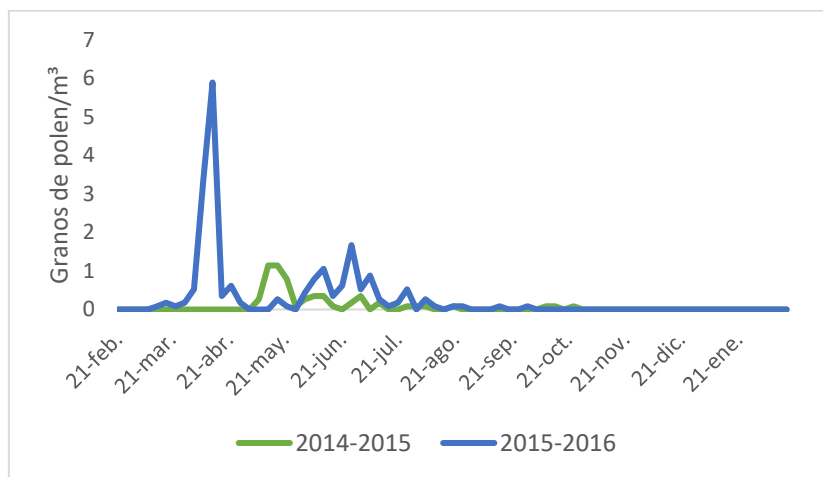


Figura 3. 72. Comportamiento estacional de granos de Rosaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

La fecha de inicio del PPP en el primer periodo sucedió un mes más tarde respecto a la de 2015 (8 de mayo de 2014 y 1 de abril de 2015), como se aprecia en la tabla 3.114, registrando el fin con casi un mes de diferencia también (17 de agosto de 2014 y 27 de julio de 2015). El índice polínico estacional fue de 26 granos de polen/m³, durante el periodo 2014-2015, mientras que en el siguiente fue de 91 granos de polen/m³. La duración fue bastante similar con 102 días en 2014-2015 y 116 durante 2015-2016. Respecto a los valores pico fueron de 2 granos de polen/m³, el 13 de mayo de 2014 y de 14 granos de polen/m³, el 10 de abril de 2015.

Tabla 3. 114. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Rosaceae registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | 26 | 8-may | 17-ago | 102 | 13-may | 2 |
| 2015-2016 | 91 | 1-abr | 25-jul | 116 | 10-abr | 14 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Thymelaceae

El índice polínico anual del periodo 2014-2015 (31 granos de polen/m³) fue muy similar al del periodo 2015-2016 (33 granos de polen/m³), como muestra la tabla 3.115.

Tabla 3. 115. Concentraciones mensuales totales de granos de Thymelaceae capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|---|---|---|-----|
| 2014/2015 | - | - | - | - | - | 5 | 8 | 1 | 12 | 4 | 1 | - | 31 |
| 2015/2016 | - | 1 | - | - | 3 | 15 | 8 | 4 | 1 | 1 | - | - | 33 |

Aunque se detectaron granos desde julio hasta diciembre (figura 3.73), las mayores aportaciones tuvieron lugar en octubre de 2014 con 12 granos de polen/m³ y julio de 2015 con 15 granos de polen/m³, contribuyendo agosto de forma significativa en ambos años, con 8 granos de polen/m³. Los mínimos estuvieron repartidos entre septiembre y diciembre de 2014 con 1 grano de polen/m³ y marzo, octubre y noviembre de 2015 con la misma cantidad.

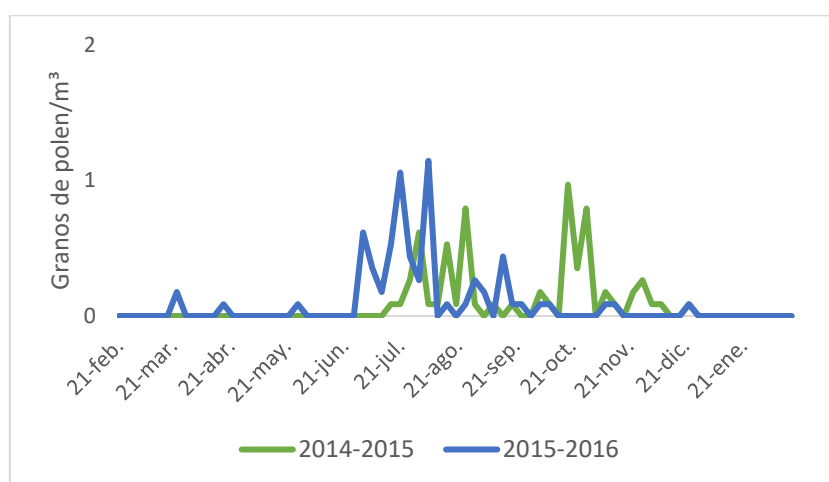


Figura 3. 73. Comportamiento estacional de granos de Thymelaceae detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

A pesar de que la fecha de inicio se adelantó un mes en 2015 (23 de mayo), con respecto al primer año (el 24 de julio), el fin del PPP se registró en el mismo mes, con diez días de diferencia (día 19 en 2014 y día 9 en 2015), registrándose una mayor duración del periodo en 2015-2016 con 171 días frente a los 129 de 2014-2015 (tabla 3.116). El índice polínico estacional fue de 28 granos de polen/m³, durante 2014-2015, siendo muy similar en 2015-2016, con 30 granos de polen/m³. Los valores pico sucedieron en el mes de agosto con 4 granos de polen/m³, el día 25 de agosto de 2014 y 5 granos de polen/m³, en día 3 de agosto de 2015.

Tabla 3. 116. Análisis del periodo principal de polinización de los granos de *Thymelaceae* registrados a lo largo del estudio.

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|---------------|--------|--------|--------------------|-------------|--------------|
| 2014-2015 | 28 | 24-jul | 19-nov | 129 | 25-ago | 4 |
| 2015-2016 | 30 | 23-may | 9-nov | 171 | 3-ago | 5 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

Ulmus

El índice total anual fue de 63 granos de polen/m³, en el periodo 2014-2015, mientras que durante el periodo 2015-2016 fue casi cuatro veces superior (238 granos de polen/m³) como se aprecia en la tabla 3.117.

Tabla 3. 117. Concentraciones mensuales totales de granos de *Ulmus* capturados durante el muestreo.

| | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | Año |
|------------------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|
| 2014/2015 | 38 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 63 |
| 2015/2016 | 84 | 81 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 13 | 238 |

En ambos periodos las concentraciones se registraron durante los meses de enero, febrero y marzo (figura 3.74), obteniendo febrero las máximas con 38 granos de polen/m³ en 2014-2015 y 84 granos de polen/m³, en 2015-2016.

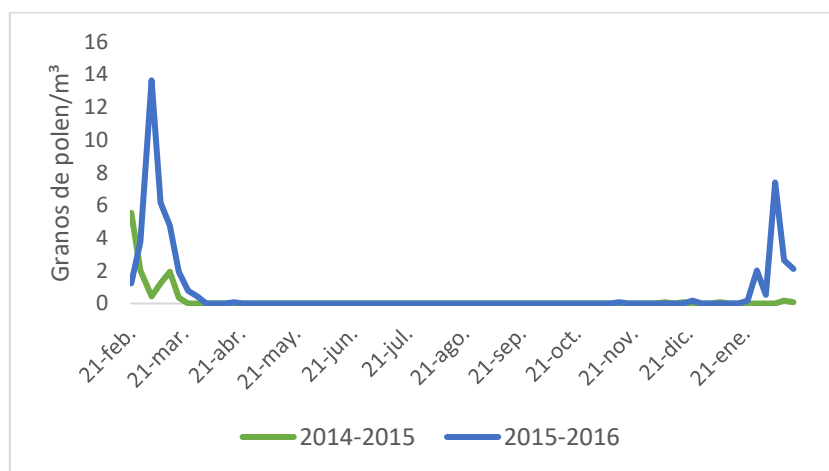


Figura 3. 74. Comportamiento estacional de granos de *Ulmus* detectados durante el periodo de estudio (media de cinco días).

Los días pico para este tipo de polen ocurrieron el 17 de febrero de 2014 y 27 de febrero de 2015, alcanzando valores bastante diferentes (11 y 47 granos de polen/m³, respectivamente) (tabla 3.118).

Tabla 3. 118. *Análisis del periodo principal de polinización de los granos de Ulmus registrados a lo largo del estudio.*

| | Total PPP* | Inicio | Fin | Duración (días) | Día pico | Día pico* |
|------------------|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| 2014-2015 | - | - | - | - | 17-feb | 11 |
| 2015-2016 | - | - | - | - | 27-feb | 47 |

PPP: Periodo Principal de Polinización.

*Concentraciones en granos de polen/m³

PORCENTAJE DE REPRESENTACION MEDIO INFERIOR A 0,05%

En este apartado se incluyen: *Acacia*, *Ambrosia*, *Cannabis*, *Caryophyllaceae*, *Castanea*, *Fabaceae*, *Helianthus*, *Juncaceae*, *Myrtaceae*, *Rhamnaceae*, *Robinia*, *Rubiaceae*, *Sambucus*, *Tilia* y *Typha*.

Acacia

Se contabilizaron un total de 7 granos de polen distribuidos entre marzo y abril de 2014, mientras que en 2015 se registraron tres granos de polen los días 10, 11 y 25 de marzo.

Ambrosia

Durante el año 2014 se registraron 17 granos de polen distribuidos durante los meses de junio, agosto, septiembre y octubre. En 2015 se registraron 10 granos de polen entre los meses de agosto, septiembre y octubre.

Cannabis

Se contabilizaron 5 granos de polen los días 31 de julio y 1, 2 y 11 de agosto de 2014. Durante 2015 se contabilizaron 10 granos de polen distribuidos entre julio y agosto con una concentración diaria máxima de 2 granos/m³ el día 1 de julio.

Caryophyllaceae

Se registraron tres granos de polen los días 24 de mayo y el 7 y 30 de septiembre de 2014. En 2015 se contabilizó un único grano el día 28 de mayo.

Castanea

Durante 2014 se contabilizaron 7 granos de polen distribuidos entre mayo y junio, mientras que en 2015 se registraron 15 granos de polen distribuidos entre los meses de marzo, mayo, agosto, septiembre y noviembre.

Fabaceae

Se contabilizaron 22 granos de polen entre los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre. En el segundo periodo de estudio se registraron 27 granos de polen los entre los meses de abril, junio, julio, agosto y diciembre con una concentración máxima diaria de 2 granos/m³, el día 13 de julio.

Helianthus

Se registraron 26 granos entre agosto y octubre de 2014 con una concentración diaria máxima de 6 granos/m³ el 1 de septiembre. Durante 2015 se registraron dos granos de polen los días 20 y 21 de marzo.

Juncaceae

Durante 2014 se registraron 9 granos de polen distribuidos entre abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. En el año 2015 se contabilizaron 11 granos distribuidos en los meses de marzo, mayo, junio y julio.

Myrtaceae

Se contabilizaron un total de 18 granos de polen en 2014 durante los meses de abril, mayo, junio, julio, octubre noviembre y enero de 2015 con una concentración diaria máxima de 2 granos/m³, detectada el 28 de junio. En el año 2015 se registraron 22 granos de polen distribuidos entre los meses de febrero, abril, junio, julio, agosto y durante enero y febrero de 2016.

Rhamnaceae

Durante el año 2014 sólo se registró un grano de polen el día 25 de marzo y 5 granos en julio y agosto de 2015.

Robinia

Se registraron 62 granos de polen a lo largo del año 2014 con un grano de polen el día 30 de marzo y 4 de octubre, pero con 60 granos distribuidos a lo largo del mes de mayo. Durante 2015 sólo se detectaron 4 granos de polen los días 17, 19, 20 y 30 de marzo, lo que hizo que este tipo polínico no se incluyera en una categoría superior al disminuir su porcentaje total.

Rubiaceae

Se registró un grano de polen el día 31 de marzo de 2014 y 25 granos distribuido del 10 al 21 de mayo del mismo año. Durante el año 2015 sólo se registró un único grano de polen el día 31 de marzo.

Sambucus

Se registraron 12 granos de polen entre junio, julio y agosto de 2014 y 20 granos de polen distribuidos entre los meses de mayo y junio de 2015.

Tilia

Se registraron concentraciones similares de granos de polen en las dos anualidades con 31 granos de polen en 2014 y 40 durante 2015, entre los meses de abril a octubre.

Typha

En el año 2014 se registraron 9 granos de polen distribuidos entre los meses de junio, julio, agosto y septiembre. En 2015 se registró un grano de polen el día 28 de marzo y 18 más distribuidos entre junio, julio, agosto y septiembre.

ARTÍCULO III

**Urban atmospheric levels of allergenic pollen:
comparison of two samplers in central-western
Spain**

*Niveles atmosféricos urbanos de polen alergénico:
comparativa de dos captadores en el centro Oeste de
España*

El artículo que se presenta a continuación ha sido publicado en la revista **Environmental Monitoring and Assessment**. La información contenida en él muestra, de forma complementaria al estudio de las partículas polínicas presentes en la atmósfera de Salamanca, la comparativa de niveles de polen entre dos zonas de la ciudad de Salamanca. Dicho artículo ha sido posible gracias a la colaboración entre el Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario de Salamanca y el Grupo de Palinología y Conservación Vegetal de la Universidad de Salamanca, mediante la cesión de datos aerobiológicos captados, procesados y leídos por personal del Servicio de Inmunoalergias.

La información contenida en la publicación hace referencia a algunos de los tipos polínicos con interés alergénico más relevantes localizados entre ambas zonas de muestreo, comparando los resultados obtenidos por sendas estaciones, analizando la estacionalidad e influencia de los parámetros meteorológicos sobre las concentraciones de los granos de polen seleccionados, junto con algunas consideraciones acerca de los niveles de riesgo que entrañan las partículas polínicas para la población alérgica y los días en los que se sobrepasan los umbrales establecidos.

Niveles atmosféricos urbanos de polen alergénico: comparativa de dos captadores en el centro Oeste de España

Sergio Fuentes Antón¹, David Rodríguez de la Cruz^{1,2}, Asunción García Sánchez³, Ignacio Dávila^{3,4,5}, José Sánchez Sánchez^{1,2} & Estefanía Sánchez Reyes^{1,6}



Environmental Monitoring and Assessment (2020) 192:414

DOI: 10.1007/s10661-020-08375-2

Factor de impacto (2019): 1,90; *Environmental sciences*, 169/265 (Q3)

RESUMEN

El presente trabajo, atendiendo a la localización del captador, ha identificado las áreas específicas de la ciudad con un mayor impacto sobre la salud de los pacientes. En este artículo, se revelan las diferencias en los niveles polínicos detectados en dos partes de Salamanca (ciudad del centro oeste de España), usando dos captadores volumétricos. El captador 1 estuvo localizado en el centro ciudad y el captador 2 en una zona seminatural. Los dos aparatos estuvieron separados por una distancia de 1.4 km. Durante los dos años de estudio, el tipo polínico alergénico más abundante fue Poaceae, con valores pico detectados en mayo. Los valores máximos se detectaron entre abril y junio. Los picos de concentración obtenidos de acuerdo a la estacionalidad fueron similares en las dos zonas, pero la abundancia de granos de polen detectados por el captador 2 fue mayor, excepto para *Olea*. La estación atmosférica del polen fue similar en duración, salvo para algunos tipos pertenecientes al género *Plantago* y *Urticaceae*, que mostraron valores divergentes, probablemente debido a las condiciones climáticas. El parámetro meteorológico correlacionado más significativamente con la concentración polínica fue la temperatura, negativa para especies invernales y positiva para plantas con requerimientos climáticos más cálidos. Además, las precipitaciones mostraron una correlación negativa en la mayoría de los casos, debido a que las lluvias influyen en el comportamiento atmosférico de las partículas polínicas.

Palabras clave: Polen atmosférico, Aerobiología, Alergia, Captador polínico, España

¹ Hispano-Luso Agrarian Research Institute (CIALE), University of Salamanca, Villamayor Campus, Río Duero Street N°12, 37185 Villamayor, Salamanca, Spain.

² Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Pharmacy, University of Salamanca, Licenciado Mendez Nieto s/n, 37007, Salamanca, Spain.

³ Department of Biomedical and Diagnostic Sciences, Faculty of Medicine, University of Salamanca, Alfonso X, El Sabio s/n, 37007, Salamanca, Spain

⁴ Inmunología Service, University Hospital of Salamanca, Spain.

⁵ Institute for Biomedical Research of Salamanca

⁶ Catholic University of Ávila, Los Canteros Street s/n 05005, Ávila, Spain.

E-mail: u87950@usal.es



Urban atmospheric levels of allergenic pollen: comparison of two locations in Salamanca, Central-Western Spain

Sergio Fuentes Antón · David Rodríguez de la Cruz ·
Asunción García Sánchez · Ignacio Dávila · José
Sánchez Sánchez · Estefanía Sánchez Reyes

Received: 6 December 2019 / Accepted: 21 May 2020
© Springer Nature Switzerland AG 2020

Abstract In this paper, differences in the pollen levels detected in two parts of Salamanca (a city in central-western Spain) have been revealed using two volumetric samplers. One sampler was located in the city centre and the other in a semi-natural zone. The two sampling devices were separated by a distance of 1.4 km. During the two-year study period, the most abundant allergenic pollen type was Poaceae, with peak values being detected in May. Maximum values were registered between

April and June. The values obtained in both zones with regard to pollen seasonality were similar during the peak day, but the abundance of pollen grains detected in the semi-urban was higher, except for *Olea* pollen type. The atmospheric pollen season was similar in duration, except for some types belonging to the genera *Plantago* and *Urticaceae*, which showed divergent values most probably due to the influence of climatic conditions. The meteorological parameter most significantly correlated to pollen concentration was temperature, being negative for winter species and positive for plants preferring warmer climates. In addition, rainfall showed a negative correlation in most cases due to the influence of precipitation on the behaviour of atmospheric airborne pollen.

S. F. Antón (✉) · D. R. de la Cruz · J. Sánchez Sánchez ·
E. Sánchez Reyes
Hispano-Luso Agrarian Research Institute (CIALE), University of
Salamanca, Villamayor Campus, Río Duero Street No. 12, 37185
Villamayor, Salamanca, Spain
e-mail: u87950@usal.es

D. R. de la Cruz · J. Sánchez Sánchez
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of
Pharmacy, University of Salamanca, Licenciado Mendez Nieto
s/n, 37007 Salamanca, Spain

A. G. Sánchez · I. Dávila
Department of Biomedical and Diagnostic Sciences, Faculty of
Medicine, University of Salamanca, Alfonso X, El Sabio s/n,
37007 Salamanca, Spain

I. Dávila
Immunoallergy Service, University Hospital of Salamanca,
Salamanca, Spain

I. Dávila
Institute for Biomedical Research of Salamanca, Salamanca, Spain

E. Sánchez Reyes
Catholic University of Ávila, Los Canteros Street, s, /n
05005 Ávila, Spain

Keywords Atmospheric pollen · Aerobiology · Allergy ·
Pollen Trap · Spain

Introduction

The number of studies on pollen grains and their role in the allergenic process has increased over recent decades (Ribeiro and Abreu 2014; Karatzas et al. 2019) and has become more detailed and complex. Many have addressed the amount of atmospheric pollen in urban areas and how its behaviour is influenced by meteorological factors (Bruffaerts et al. 2018). In addition, much research has also been done on how pollen affects allergy sufferers, establishing the times of the year when pollen counts are more severe and dangerous and pollen

calendars include information on the main pollen types (Rodríguez de la Cruz et al. 2010).

Another influence related to the increased number of studies on pollen and how it affects people is urban expansion, which is a fast-paced phenomenon linked to population growth (Oueslati et al. 2015; Zitti et al. 2015). Urban expansion is associated with other factors, such as urban management, which deals with planting different types of trees for decorative purposes and for providing shade among other benefits. Moreover, mature trees can regulate water flow (Mullaney et al. 2015; FAO 2016; Livesley et al. 2016). Some cities opt for developing green zones not only in the surrounding areas, but also in areas close to the city centre. Although green areas, gardens, and ornamental vegetation help to reduce pollution levels, especially in large cities, they can become a major problem as they produce allergenic particles that may potentially affect the general population (Cariñanos et al. 2017).

One of the major contributors to pollinosis, along with grasses, are trees with anemophilous pollination, due to the massive amount of pollen they are capable of generating (Tormo Molina et al. 1996). The wind-pollinated trees most frequently planted for shade and ornamentals in the Mediterranean region are *Pinus pinaster* Ait, *Platanus hispanica* Mill ex Münchh, *Olea europea* L., as well as several trees from the genus *Fraxinus* (Cariñanos and Casares Porcel 2011) which grow naturally on riverbanks (Monroy Colín et al. 2018). Although *Pinus* pollen does not tend to cause allergies (Fountain and Cornford 1991), other pollen types, such as *Olea* and *Platanus*, have been extensively studied over the course of many years (Varela et al. 1997; Alcázar et al. 2004). These pollen types have also been largely relevant in recent works not only in Spain (Plaza et al. 2016) but also in other parts of the world (Ribeiro et al. 2008; Tosunoglu et al. 2018).

Three decades ago, D'Amato and Lobefalo (1989) reported that in the Mediterranean region, *Olea* pollen, along with other types of pollen from families, such as Poaceae and Urticaceae, was one of the major causes of pollinosis. For this reason, there are a large number of studies on these pollen types in countries, such as Turkey (Uguz et al. 2017), Croatia (Puljack et al. 2016), and southern Spain (Recio et al. 2006; Cariñanos et al. 2014; Martínez Bracero et al. 2015). The climatic conditions in these areas allow olive trees to be cultivated in large numbers, producing high quantities of pollen grains. In other parts of Europe, with different meteorological

conditions, there is a similar problem but with other types of pollen. In Poland (Kubik Komar et al. 2018), species of the genus *Fraxinus*, belonging to the Oleaceae family, are planted in urban areas and are known to affect allergy sufferers. In the Iberian Peninsula, the same conditions can be found as those of northern and southern Europe; however, in southern Spain, the main source of pollinosis is from *Olea*. In northern and central-western Spain, other genera, such as *Fraxinus* (Jato et al. 2004) and especially *Platanus*, which is commonly used as a source of shade, (Alcázar et al. 2004; Sánchez Reyes et al. 2009) are also important. In the Iberian Peninsula, there are also other species whose pollen grains are equally allergenic, and Cupressaceae is abundantly found in several locations, such as Portugal (Gomes et al. 2019) and southern Spain (Díaz de la Guardia et al. 2006). In some studies, herbaceous types, such as Amaranthaceae, *Plantago*, and *Rumex*, are also considered highly allergenic sources (Alcázar et al. 2009; Kruczek et al. 2017). Another allergenic pollen present in Spain, with a northern distribution, comes from the genus *Betula* (Méndez et al. 2005), but it is only slightly prevalent in forests of watercourses in other parts of the peninsula.

Although much is known about the palynological composition of the atmosphere, current research continues to focus on the presence of atmospheric pollen grains, creating new pollen and spore calendars (Fuentes et al. 2019). Other studies use models to predict future scenarios (Newman et al. 2019). However, there are not many studies that compare different scenarios and those that do exist compare pollen levels at different heights (Khattab and Levetin 2008; Rojo et al. 2019) or sites within the same city (Gonzalo Garijo et al. 2006; Velasco Jiménez et al. 2013; Patel et al. 2018).

This study was carried out with the aim to examine and quantify atmospheric pollen content using two samplers at different locations within the same city. The results of this study will help to extend upon another study carried out several years ago within the same locations (Rodríguez de la Cruz et al. 2016), but this time will include data coming from two consecutive sampling years instead of one. Together with the comparison of allergenic pollen levels between both zones, we also provide more detailed information about seasonal behaviour of allergenic pollen grains and relationship with the main meteorological parameters. Further, authors also analysed the days in which the threshold levels established for pollen types in the air, dangerous for the allergic population, were surpassed.

Materials and methods

The city of Salamanca (40° 58' N; 5° 39' W) is located in central-western Spain (Fig. 1a) at an altitude of 802 m.a.s.l., and according to Rivas Martínez (2007) belongs to the Mediterranean region. The city is surrounded by different types of landscapes, including cultivated lands in the northeast and pastures called *dehesas* containing different species of holm oaks (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp). In the south and west and areas near the Tormes river, which crosses the city, there is riparian vegetation. There are also many ornamental trees cultivated throughout the city, with *Platanus* being the most abundant. In addition, other allergenic genera, such as *Olea*, are becoming more frequently planted along streets and in green areas. The climate is considered a cold temperate continental climate (Capel Molina 2000) with a dry season that causes droughts in summer. The annual mean temperature during a thirty-year period (1980–2010) was 12.2 °C, with a low level of rainfall (372 mm).

Aerobiological sampling was carried out using two Hirst volumetric traps, based on the principle of impact (Hirst 1952), located in different buildings within the city. The first trap (city centre) was a 7-day Burkard sampler (Burkard Manufacturing Co Ltd) located on the roof of a historic building in the city centre at a height of 14 m above ground level. The second (semi-urban) was a VPPS 2000 (Lanzoni s.r.l.) pollen trap located on the roof of the School of Pharmacy of the University of Salamanca at a height of 25 m above ground level in the periphery of the city. The distance between the two collectors was 1.4 km, and the two samplers operated continuously from 17 February 2014 to 16 February 2016. The airflow was set at 10 l/min, as indicated by the minimum requirements for aerobiological monitoring (Galán et al. 2014). Pollen collection and sample processing was carried out according to the methodology established by the Spanish Aerobiology Network (Galán et al. 2007): four longitudinal traverses of contiguous fields along the length of the slide, of equal width, under a 400× magnification in optical microscope. The data collected were expressed as pollen grains/m³ as suggested by Galán et al. (2017), and different keys and texts were used to identify the pollen types (Valdés et al. 1987; Grant Smith 2000; Anero Bartolomé et al. 2008). The pollen grains obtained in the city centre trap were analysed during several years by different high experienced scientist members of the Immunoallergy Service of

the University Hospital. The lectures were always performed under the same requirements established by the Spanish Aerobiology Network in order to obtain quite homogenous data between different samplers and cities.

Based on the classification of the pollen types detected, only those types that were known to be allergenic were considered for this study. Since the objective was to compare pollen levels in two different places in the same city, one location was chosen in the centre of Salamanca, in an urban environment, and the other near the Tormes river in a semi-urban environment (Fig. 1b). The first step in the study was to establish the Atmospheric Pollen Season (APS), a term proposed by Jato et al. (2006), for both zones and to create tables that included the starting, ending date, and APS length in days. The APS was defined using a method that calculates the start of this period when 5% of the total pollen is recorded, and the end when 95% is captured (Nilsson and Persson 1981). We did not include species from *Cupressaceae* and *Fraxinus* in the APS table because the calculation of the APS of these two types, considering the sampling dates (February to February), would have resulted in an inaccurate duration, start and finish, even if other models, such as those described by Andersen (1991), Galán et al. (1995), and Jäger et al. (1996), would have been used.

In addition, we calculated the peak day, peak value, and threshold levels with regard to clinical implications of the pollen concentration. The threshold system was established by Galán et al. (2007) in Spain and categorised different pollen groups according to their levels of abundance in the atmosphere. Although *Fraxinus* pollen does not appear in the threshold levels created by the Spanish Aerobiology Network (REA), we placed this type in group 3 due to its abundance and allergenicity as shown in a previous study (Rodríguez de la Cruz et al. 2016). For our study, we considered only moderate and high levels, expressed in pollen grains/m³:

- Group 1: Urticaceae: moderate = 16–30; high > 30.
- Group 2: Amaranthaceae, *Plantago*, Poaceae, *Rumex*: moderate = 26–50; high > 50.
- Group 3: *Betula*, *Fraxinus*: moderate = 31–51; high > 50.
- Group 4: Cupressaceae, *Olea*, *Platanus*: moderate = 51–200; high > 200.

To allow for a better understanding of graphical representations, seasonal patterns are made using ranges

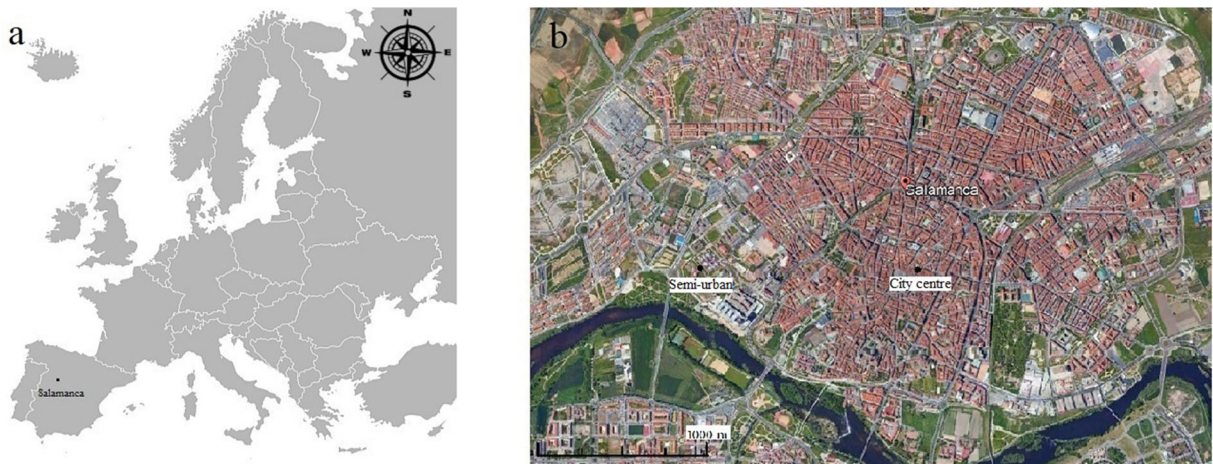


Fig. 1 Location of the city under study in Europe (a) and location of pollen traps (b)

containing peak values instead of the duration of the APS. These patterns were constructed using an average of five days for each type of pollen. In the case of pollen from Cupressaceae and *Fraxinus*, the full year with the 5-days mean was considered, due to the flowering period occurring between the two years.

The statistical comparison of pollen levels between both traps was performed using the SPSS programme (version 23) and the Spearman's non-parametric correlation test, due to the fact that daily pollen levels are not normally distributed. First, the correlation values were obtained using data from the entire sampling period (two years), and then, the years were separated in order to detect any possible correlations between the two samplers. In both cases, a complete year was considered (730 and 365 days, respectively).

For the meteorological analysis, climatic graphs of both sampling years were made separately to look for any possible differences, especially for those factors that have more influence on pollen grains, such as temperature and rainfall. In addition, we set out to test the effect of meteorological factors on pollen concentration over the years at different points in the city. To do this, correlations were established throughout the APS, except for Cupressaceae and *Fraxinus* in which case the complete year was analysed, as previously mentioned. The meteorological parameters studied were maximum and minimum daily mean temperature ($^{\circ}\text{C}$), total daily rainfall (mm), average daily wind speed (km/h), average daily frequency of winds from the four quadrants (north-east, southeast, southwest, and northwest) (%), average daily frequency of calms (%), and average daily solar radiation (hours). The meteorological data were

obtained from the Spanish State Meteorological Agency (AEMET) provided by Matacán Airbase ($40^{\circ} 57'\text{N}$; $5^{\circ} 29' \text{W}$; 790 m.a.s.l.), 14 km from the centre of Salamanca.

Results

Pollen values and correlation between locations

At the end of the two-year sampling period, we were able to observe some differences between the values obtained in the two zones, not only regarding the season in which pollen appeared or the peak values of the pollen types, but also in the total number of pollen grains obtained. Sampler from city centre collected 48,743 pollen grains and sampler in the semi-urban collected 66,299 pollen grains during the two-year study period. The main pollen types identified at the city centre and the semi-urban locations were Poaceae (most abundant pollen type), Cupressaceae (the total values were around 2000 pollen grains in the two collectors), *Platanus*, and *Fraxinus* (Table 1). In addition, differences were found in the amount of pollen grains collected in each year for the most abundant pollen types, as well as the less abundant types (for *Plantago*, 395 pollen grains were collected during 2014 in the centre and 431 in the semi-urban, but more than 1000 pollen grains were collected during 2015 in the two zones). *Betula*, on the other hand, produced the least amount of pollen, with less than 100 pollen grains being detected in the centre of the city during the two years. This number was slightly higher in the semi-urban. *Olea* was extremely abundant

in the urban centre but showed some differences with respect to the total values. The values obtained for pollen from herbaceous plants, such as those belonging to *Amaranthaceae*, *Plantago*, *Rumex* and *Urticaceae*, were the highest in the semi-urban.

According to the peak values obtained, the pollen types studied did not exceed 200 pollen grains/m³ (except for *Platanus* and the total pollen concentration) during 2014. However, during 2015, these peaks increased for many of the different types of pollen. It is important to mention that the values for *Olea* during the second study year reached a daily peak of 545 pollen grains/m³ in the centre and 135 pollen grains/m³ in the semi-urban environment. *Platanus* also presented high levels of pollen daily, with 555 pollen grains/m³ in city centre sampler and 465 pollen grains/m³ in the periphery. Although there were significant differences in the amount of pollen, the peak day of many of the pollen types collected in both zones coincided, not only in total pollen levels (peak day on May 8 in 2014 and May 12–13 in 2015), but also for highly allergenic pollen types coming from *Poaceae* (May 18 in 2014). The peak days of other pollen types tended to differ by only one day (*Betula* peaked on 10 and 11 April in 2014 but differed during two weeks in 2015; pollen from *Amaranthaceae* peaked between 20 and 21 August in 2015, or even during the same week; *Rumex* peaked between 1 and 6 May in 2014; and *Plantago* peaked on 9 and 12 May in 2015). *Olea* peaked in May with some differences observed between years, which was the same for *Cupressaceae*. According to the data from the two locations, *Platanus* peaked in the first half of April. However, for *Fraxinus*, there was a small difference recorded between city centre and the semi-urban during 2014, where the peak days were separated by one month. Pollen from *Urticaceae* had maximum values on four different days in different months.

With respect to threshold levels, *Poaceae* obtained the highest number of days exceeding moderate to high levels of pollen, but these values differed for each of the samplers (in 2014, the number of days was 42 (centre) and 37 (semi-urban) and 32 and 54 days, respectively, in 2015). Other pollen types reaching moderate to high levels belonged to *Cupressaceae*, occurring for 10–13 days during the two years, and *Fraxinus*, which had moderate to high levels for 10 to 14 days during 2015, but fewer days in 2014. *Olea*, despite being a rather allergenic type, was only recorded as having more than 10 days of moderate to high levels by the semi-urban

sampler in 2015. *Platanus* had exactly the same values as *Olea* during 2015. The rest of the pollen types was less abundant and barely reached 10 days of moderate to high levels. Pollens from *Amaranthaceae*, *Betula*, and *Urticaceae* were the types that had one or no days of high risk, and *Plantago* and *Rumex* were variable with zero or few days of risk in 2014 to more than 10 in 2015.

Correlation between pollen grain concentrations, according to the location of the samplers (Table 2), was first analysed using data collected during the whole sampling period. Then, the analysis was carried out for each year separately to detect any possible differences between the two years. These results showed a positive correlation for all pollen types. Only the value for total pollen concentration had a high correlation during the two sampling years. For *Poaceae*, correlation was also high compared to the other types, and this result was maintained for the two years separately. The second most abundant pollen types came from *Platanus*, *Rumex* and *Olea*, with the concentration of the latter two types being quite similar in 2015. The rest of the correlations obtained low coefficients, especially *Betula* and those belonging to *Urticaceae*. The remaining types from *Amaranthaceae*, *Cupressaceae*, *Fraxinus* and *Plantago* showed values that were midway between the others, with coefficients ranging from about 0.400** to 0.500**. Upon comparing the coefficients obtained for the complete two-year period and those obtained for the two separate years, we observed that during 2015 the Spearman coefficients were higher than in 2014 and the two years together, except for *Betula* which had low values in 2015.

Atmospheric pollen season analysis

During 2014, there were no significant differences between the two samplers regarding the start of the APS (Table 3). Although in the case of *Plantago* and *Rumex*, the start was separated by one or two days. For other pollen types, such as those coming from *Amaranthaceae* and *Poaceae*, the start of the APS fluctuated by at least one month. In 2015, the start of APS was different for many of the pollen types and was found to be separated by at least one week. This was especially the case of *Rumex* (15 April in centre sampler and 24 April in the semi-urban trap) and *Urticaceae* (30 March in city centre and 11 April in the semi-urban), but the starting dates of the APS for *Olea* and *Platanus* were separated by several days.

Table 1 Aerobiological data from two pollen traps separated by years

| | City centre | | | | Semi-urban | | | |
|-----------------|--------------|-------------------------|----------|--------------------------------|--------------|------------|----------|--------------------------------|
| | Total pollen | Peak value ^a | Peak day | Days with moderate/high levels | Total pollen | Peak value | Peak day | Days with moderate/high levels |
| 2014 | | | | | | | | |
| Amaranthaceae | 145 | 20 | Aug 18 | 0 | 400 | 29 | May 28 | 1 |
| <i>Betula</i> | 80 | 15 | Apr 11 | 0 | 152 | 25 | Apr 10 | 0 |
| Cupressaceae | 1900 | 150 | Mar 17 | 12 | 2577 | 196 | Mar 5 | 13 |
| <i>Fraxinus</i> | 805 | 105 | Mar 20 | 8 | 609 | 51 | Feb 20 | 4 |
| <i>Olea</i> | 700 | 65 | May 18 | 2 | 584 | 96 | May 28 | 3 |
| <i>Plantago</i> | 395 | 25 | May 11 | 0 | 431 | 22 | May 18 | 0 |
| <i>Platanus</i> | 830 | 225 | Apr 10 | 4 | 1246 | 245 | Apr 12 | 7 |
| Poaceae | 3495 | 180 | May 18 | 42 | 3659 | 113 | May 18 | 37 |
| <i>Rumex</i> | 460 | 40 | May 1 | 4 | 845 | 74 | May 6 | 7 |
| Urticaceae | 315 | 15 | Aug 19 | 0 | 407 | 18 | Mar 18 | 1 |
| Total | 26370 | 2810 | May 8 | 61 | 32264 | 1086 | May 8 | 61 |
| 2015 | | | | | | | | |
| Amaranthaceae | 245 | 30 | Aug 21 | 1 | 623 | 27 | Aug 20 | 1 |
| <i>Betula</i> | 50 | 10 | Apr 4 | 0 | 121 | 17 | Mar 21 | 0 |
| Cupressaceae | 2396 | 350 | Mar 31 | 12 | 2325 | 132 | Mar 28 | 10 |
| <i>Fraxinus</i> | 1100 | 100 | Mar 17 | 10 | 2156 | 149 | Mar 1 | 14 |
| <i>Olea</i> | 1945 | 545 | May 12 | 9 | 1557 | 135 | May 11 | 11 |
| <i>Plantago</i> | 1110 | 150 | May 12 | 11 | 1426 | 69 | May 9 | 13 |
| <i>Platanus</i> | 2360 | 555 | Apr 8 | 9 | 2084 | 465 | Apr 6 | 11 |
| Poaceae | 3755 | 700 | May 12 | 32 | 5279 | 208 | May 11 | 54 |
| <i>Rumex</i> | 610 | 55 | May 12 | 4 | 1049 | 72 | May 9 | 14 |
| Urticaceae | 230 | 15 | Apr 1 | 0 | 512 | 12 | May 31 | 0 |
| Total | 22373 | 2470 | May 12 | 60 | 34035 | 1067 | May 13 | 93 |

^a Pollen grains/m³

The duration of the APS was longer, as detected in the semi-urban environment, during the sampling period for all pollen types except for *Rumex*, which showed small difference with respect to the city centre during 2015. Also, in this same year, the semi-urban location had more days compared to 2014. Poaceae, according to the results from both zones, had a longer duration, with more than 300 days, except in the centre during 2015. On the other hand, Urticaceae had values over 200 days in 2014, increased to 300 in the semi-urban sampler during 2015 and decreased in centre sampler.

The APS was also different between the two samplers and for different pollen types. While the starting date seemed to coincide throughout the two sampling years some differences were found. First, during 2014, the first recordings of Amaranthaceae and Poaceae

differed by more than 20 days, which was 40 days in the case of Poaceae, bringing the pollen season forward by one month. The peak day for Amaranthaceae was 28 May in 2014 in the semi-urban, the same time as the start of its APS. In the centre, the season started mid to late June during 2015. *Olea* showed similar start dates but had different end dates, depending on the sampler. The longest APS according to semi-urban sampler, indicating that *Olea* was present in the atmosphere until November, while in the city centre the APS ends in June. *Betula* and *Platanus* both had a well-defined APS during the spring, which is normal for these types of plants, and *Betula* is not commonly abundant at this site.

Looking at the graphical representations of the seasonal patterns, it was found that *Betula* and *Platanus*

Table 2 Spearman correlation coefficients between the zones

| Pollen type | Spearman correlation (2014–2015) | Spearman correlation (2014) | Spearman correlation (2015) |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Amaranthaceae | 0.392* | 0.350* | 0.420* |
| <i>Betula</i> | 0.266* | 0.353* | 0.175* |
| Cupressaceae | 0.398* | 0.357* | 0.436* |
| <i>Fraxinus</i> | 0.495* | 0.451* | 0.513* |
| <i>Olea</i> | 0.516* | 0.487* | 0.548* |
| <i>Plantago</i> | 0.479* | 0.384* | 0.576* |
| <i>Platanus</i> | 0.581* | 0.577* | 0.592* |
| Poaceae | 0.649* | 0.651* | 0.655* |
| <i>Rumex</i> | 0.535* | 0.521* | 0.549* |
| Urticaceae | 0.212* | 0.170* | 0.295* |
| Total | 0.727* | 0.696* | 0.764* |

* Significance level at 99%

(Fig. 2) had a low presence in the atmosphere, with low concentrations mainly occurring for a few weeks in April. Cupressaceae and *Fraxinus* started to be present in the atmosphere from February to April, with peaks occurring during November and December and started

again in January both types. The distribution of Amaranthaceae happened during the warm season, mainly from June/July until the end of September. In the case of other pollen types, no seasonal patterns were differentiated among the sampling days, except in the

Table 3 Atmospheric pollen season (APS) of the allergenic pollen types studied

| | City centre | | | Semi-urban | | |
|-----------------|-------------|---------|-------------------|------------|---------|-------------------|
| | Start APS | End APS | APS length (days) | Start APS | End APS | APS length (days) |
| 2014 | | | | | | |
| Amaranthaceae | Jun 20 | Sep 6 | 79 | May 28 | Oct 26 | 152 |
| <i>Betula</i> | Mar 12 | May 8 | 58 | Mar 20 | May 23 | 65 |
| <i>Olea</i> | May 10 | Jun 20 | 42 | May 15 | Nov 27 | 197 |
| <i>Plantago</i> | Apr 17 | Aug 23 | 129 | Apr 18 | Dec 18 | 245 |
| <i>Platanus</i> | Apr 1 | Apr 24 | 24 | Apr 7 | May 31 | 55 |
| Poaceae | Apr 10 | Feb 12 | 309 | Mar 1 | Feb 16 | 353 |
| <i>Rumex</i> | Apr 15 | Jul 22 | 99 | Apr 16 | Sep 7 | 145 |
| Urticaceae | Mar 17 | Oct 24 | 222 | Mar 18 | Nov 9 | 237 |
| Total | Mar 16 | Feb 15 | 337 | Mar 8 | Feb 13 | 343 |
| 2015 | | | | | | |
| Amaranthaceae | Jun 26 | Oct 4 | 103 | Jun 17 | Jan 6 | 204 |
| <i>Betula</i> | Apr 2 | Apr 30 | 29 | Mar 14 | May 28 | 76 |
| <i>Olea</i> | May 7 | Jun 8 | 33 | May 8 | Nov 22 | 203 |
| <i>Plantago</i> | Apr 23 | Jul 9 | 78 | Apr 27 | Oct 27 | 184 |
| <i>Platanus</i> | Apr 4 | Apr 27 | 24 | Apr 2 | Jun 11 | 71 |
| Poaceae | Apr 20 | Sep 11 | 145 | Mar 16 | Feb 14 | 336 |
| <i>Rumex</i> | Apr 15 | Sep 22 | 161 | Apr 24 | Sep 18 | 148 |
| Urticaceae | Mar 30 | Aug 25 | 149 | Apr 11 | Feb 13 | 309 |
| Total | Mar 10 | Jan 24 | 321 | Mar 5 | Feb 15 | 348 |

case of *Olea* and Urticaceae. The pollen grains of *Olea* mainly appeared at the end of May, beginning of June, as indicated by the semi-urban sampler. In the city centre location, these pollen types were detected throughout both months, and during 2015, a sharp peak was detected in mid-May (Fig. 3). The graphs representing Urticaceae (Fig. 4) showed an irregular pattern, with peaks occurring in May 2014 and moving to June–July 2015. Finally *Rumex* showed a similar pattern at city centre and semi-urban, being distributed between April and June.

Correlation with meteorological parameters

With respect to the climatic conditions (Fig. 5), we observed that temperature and rainfall were quite different during the two years; rain was especially abundant in April and June of 2015. However, the mean temperature was similar throughout the two years, being slightly higher during July and December of 2015 (22.9 and 6.6 °C, respectively) than in July and December of 2014 (20.2 and 3.3 °C). The results obtained regarding correlations between these meteorological factors and pollen levels (Table 4) showed positive correlations for temperature and several types of pollen. Also, the number of hours of sunshine was positively correlated with the same pollen types as temperature. For *Betula*, Cupressaceae, *Fraxinus*, *Platanus*, and *Rumex*, the correlations with temperature and sunshine were negative or not significant. In contrast, rain and relative humidity were negatively correlated with all pollen types, except for *Fraxinus* found in the semi-urban trap, which was positively correlated with both factors. Also, relative humidity was positive in the semi-urban for Cupressaceae and *Platanus*. Wind speed and the frequency of calm periods showed inverse values in several types. In addition, winds originating from northwest and southeast directions had the highest level of correlation with the different types of pollen, although for the latter, the values were negative.

Relative humidity seemed to be important for the presence of Cupressaceae and *Platanus* during their APS as detected in the semi-urban. The winds with a positive correlation, regardless of the speed, were southwest and northwest in the case of *Olea* and northwest and southeast for *Platanus*, and were also correlated with the levels of Amaranthaceae, *Betula*, and Cupressaceae. Finally, the total pollen concentrations were found to have values similar to those of Poaceae,

since this was the most abundant allergenic pollen type in the air in Salamanca.

Discussion

The present work was undertaken with the aim to complete a previously published study from the same location (Rodríguez de la Cruz et al. 2016). This survey adds new data about allergenic pollen dynamics between different zones within the same city and provides more detailed information. These kinds of research are scarce in Spain, but recently, they have started to increase, supporting new information for allergic patients. Although our survey only comprehends two years, other investigations related to comparison studies also include two years (Kruczek et al. 2017), one year (Gonzalo Garijo et al. 2006), or even a few months (Hamda et al. 2019), depending on the objectives. According to the sampler location, the differences could come from the number of pollen grains trapped, due to the environment that surrounds each one of the traps, but there were not found differences between the pollen types which were captured. Other surveys also made the sampling process with different trap locations both in Spain (Vara et al. 2016) and other countries (Leontidou et al. 2018)

Pollen values and correlations between locations

Pollen from Poaceae was the most abundant allergenic type found in the two samplers during the 2-year study period. The semi-urban environment registered greater pollen amounts probably been influenced by the presence of many grasslands and fields, especially surrounding the outskirts of the city and in the suburbs. This is equally important for Poaceae, *Plantago*, Urticaceae, and other herbaceous plants that easily grow.

The second most abundant pollen type, from a quantitative point of view, was Cupressaceae, possibly due to the use of species from this family as ornamental trees and natural fences throughout the city. In the previous study, the amount of pollen was twice the amount detected in this work. This could be explained by the fact that during 2007–2008 there was a large number of *Cupressus* trees around the area where sampler two is located. However, in the years that followed many of these trees were cut down due to urbanistic-related issues.

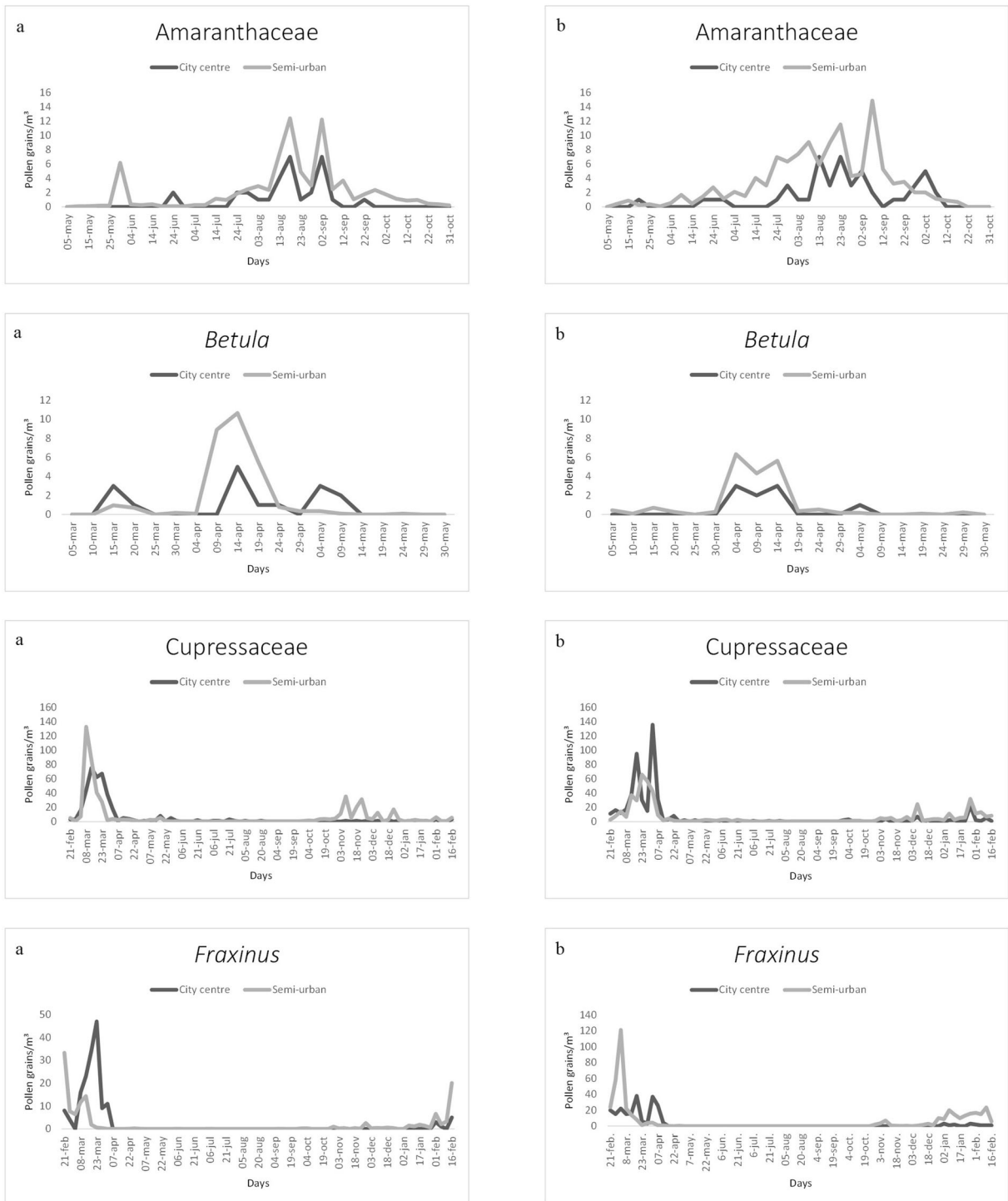


Fig. 2 (a) Seasonal pattern of Amaranthaceae, *Betula*, Cupressaceae and *Fraxinus* during 2014. (b) During 2015

In contrast to these results, the least amount of pollen was recorded for *Betula*, which was most abundant in northern Europe and mountainous areas of northern

Spain. This may have occurred because *Betula* requires humid conditions and cold temperatures (Pauling et al. 2012), and also because it is not cultivated in large

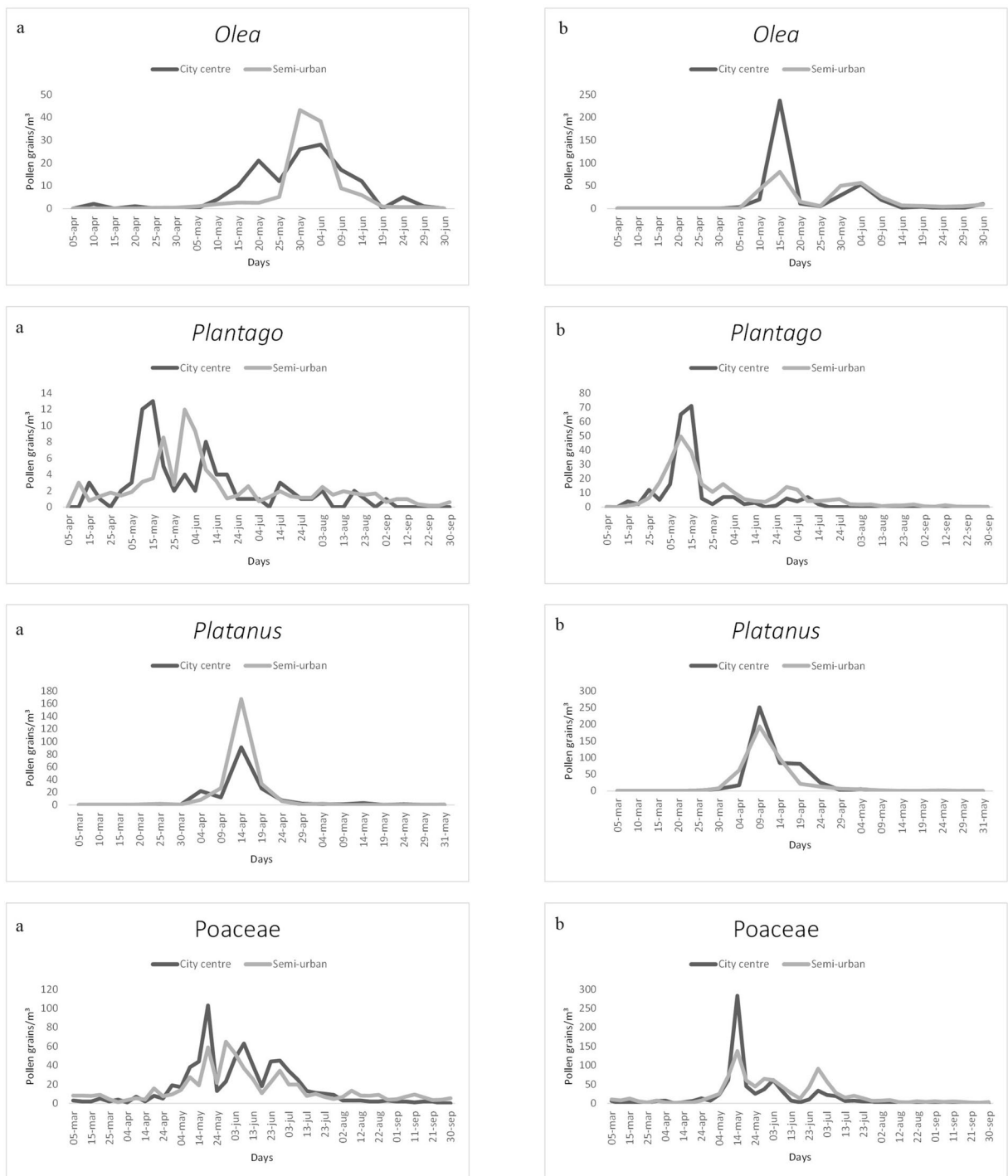


Fig. 3 (a) Seasonal pattern of *Olea*, *Plantago*, *Platanus*, and *Poaceae* during 2014. (b) During 2015

amounts in urban environments. For this reason, this pollen type was less abundant. Also, other similar papers have reported its scarcity or nonexistence in the atmosphere (Rodríguez de la Cruz et al. 2010).

Other pollen type with low values on its pollen season length was *Platanus*. Although the duration of the pollen season is of only a few days, the amount of pollen this anemophilous tree can produce made it the

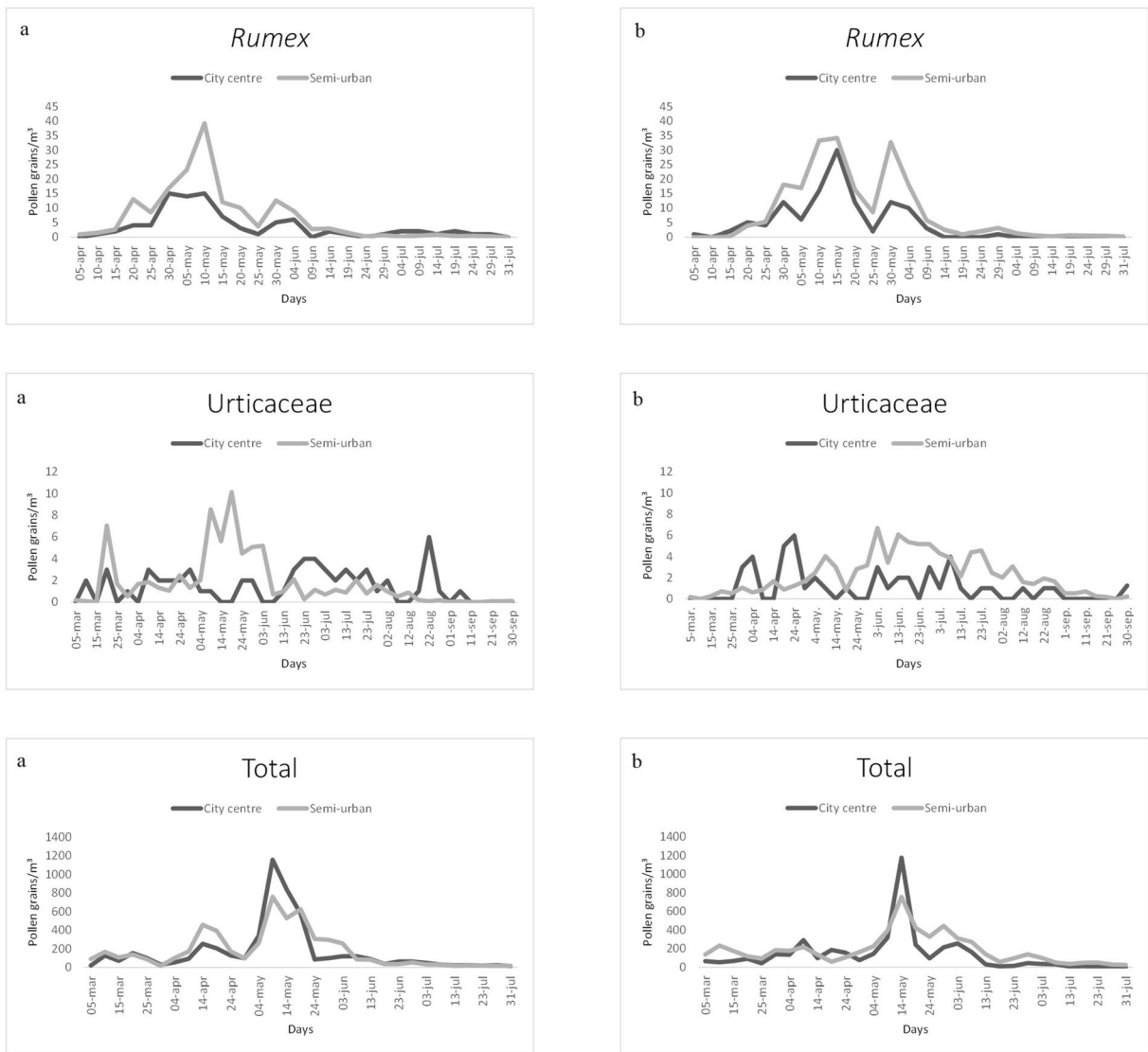


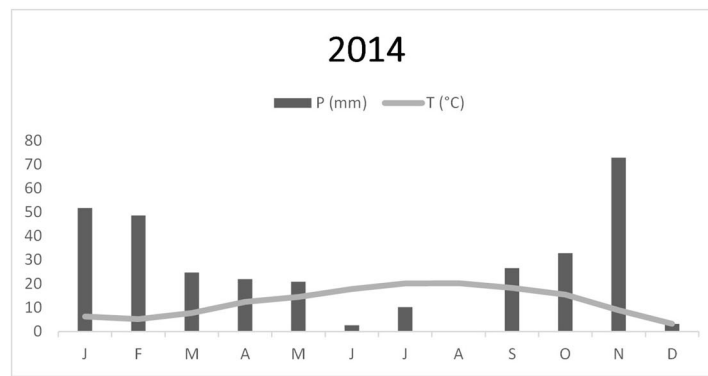
Fig. 4 (a) Seasonal pattern of *Rumex*, Urticaceae, and total pollen concentration during 2014. (b) During 2015

third most abundant type found in the city centre. During 2015, the semi-urban environment had less pollen grains, but equally abundant.

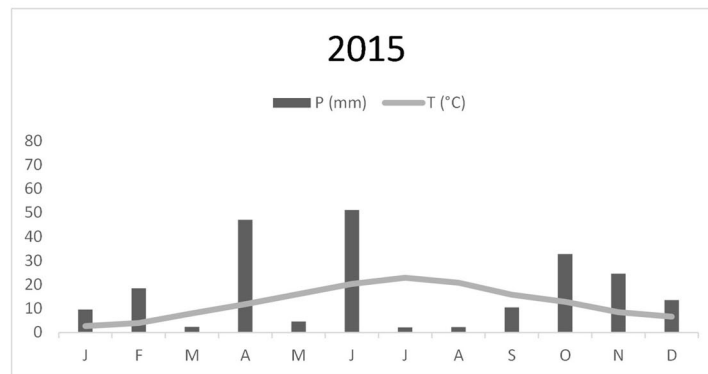
In the case of *Fraxinus*, the total amount of pollen was higher in the centre during 2014. Although the differences for this type were not very significant between samplers in 2014, and in 2015, the difference between the numbers of pollen grains collected in the two zones was approximately 1000. These values make more sense at the location of the pollen collector, since the narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) grows close to rivers (Monroy Colín et al. 2018). Amaranthaceae was distributed during the warm season,

with a peak day in August and at the end of May, as shown at the semi-urban location in 2014. Also, the total pollen concentration for this type was abundant in the suburbs, where these types of plants can be found more frequently. Similarly, the values for *Rumex* in the semi-urban sampler almost doubled. This may have occurred because of nearby fields (Kruczek et al. 2017) or even the presence of a nearby river where plants such as *Rumex crispus* L. grow.

According to the total concentration, the values in the semi-urban were higher than the city centre, contrary to the previous study carried out by Rodríguez de la Cruz et al. (2016). This could be due to several factors.



| 2014 | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| P (mm) | 51,8 | 48,6 | 24,8 | 22 | 20,9 | 2,6 | 10,3 | 0 | 26,5 | 32,8 | 72,9 | 3,2 |
| T (°C) | 6,3 | 5,2 | 7,8 | 12,5 | 14,5 | 17,9 | 20,2 | 20,3 | 18,3 | 15,5 | 9 | 3,3 |



| 2015 | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|--------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P (mm) | 9,7 | 18,5 | 2,4 | 47 | 4,6 | 51,2 | 2,2 | 2,3 | 10,5 | 32,8 | 24,6 | 13,6 |
| T (°C) | 2,7 | 4 | 8 | 11,9 | 16,1 | 20,3 | 22,9 | 20,8 | 15,8 | 12,9 | 8,5 | 6,6 |

Fig. 5 Temperature and rainfall values in Salamanca during 2014 to 2015

Although the sampler of the centre is located in the same place, there is currently less traffic in the area, because the surrounding streets are now only for pedestrians. In previous years, the effect of traffic emitting polluting particles, together with the effect of wind on the design of narrow streets, could have favoured the presence of more pollen, as well as greater phenomena of resuspension (Marini et al. 2015).

Due to the fact that the sampler located in the city centre is property of the Immunoallergy Service from the Hospital, the pollen counts were made during several years by different specialists. In that sense, there are several works which compare the results obtained by different analysts, different networks and even different methodology for the pollen count (Trigo et al. 2000;

Gharbi et al. 2017). The use of the same standardised methodology for the pollen counts in the two zones minimises the biased data.

One of the first things we proved by looking at correlations was the low Spearman value obtained between the two samplers, compared to the coefficients obtained in the previous study by Rodríguez de la Cruz et al. (2016) using the same procedure, except in the case of Poaceae and total pollen concentration. When we analyse the years separately, with a narrow sampling period, the Spearman correlations become slightly higher than those obtained in the entire sampling period. It seems that the location of the School of Pharmacy sampler allows a larger number of pollen grains to be captured, since the results show that most pollen types

Table 4 Spearman correlation coefficients obtained between APS and meteorological factors during 2 years

| Pollen type | Trap | T_{max} | T_{min} | T_{mean} | R | RH | WS | Wind NE | Wind SE | Wind SW | Wind NW | CF | Sunshine |
|------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Amaranthaceae | City centre | 0.569 ^{***} | 0.425 ^{***} | 0.550 ^{***} | -0.206 ^{**} | -0.434 ^{***} | 0.243 ^{***} | 0.172 [*] | -0.125 ^{**} | -0.265 ^{***} | -0.265 ^{***} | 0.253 ^{**} | 0.374 ^{***} |
| | Semi-urban | 0.275 ^{***} | | | -0.263 [*] | -0.252 ^{***} | 0.109 [*] | 0.285 ^{***} | | 0.222 ^{***} | | 0.222 ^{***} | |
| <i>Betula</i> | City centre | | | | | | | | | | | | |
| | Semi-urban | | | | | | | | | | | | |
| Cupressaceae ^a | City centre | -0.181 ^{**} | -0.266 ^{**} | -0.230 ^{**} | 0.140 ^{**} | 0.265 ^{**} | 0.090 [*] | 0.075 [*] | -0.116 ^{**} | -0.192 ^{**} | -0.192 ^{**} | | -0.273 ^{**} |
| | Semi-urban | -0.413 ^{**} | -0.464 ^{**} | -0.456 ^{**} | 0.140 ^{**} | 0.429 ^{**} | -0.111 ^{**} | 0.081 [*] | 0.081 [*] | -0.092 [*] | -0.092 [*] | 0.481 ^{***} | -0.404 ^{***} |
| <i>Fraxinus</i> ^a | City centre | -0.236 ^{**} | -0.315 ^{**} | -0.285 ^{**} | 0.140 ^{**} | 0.429 ^{**} | -0.486 ^{**} | 0.223 ^{**} | 0.427 ^{**} | 0.474 ^{**} | 0.474 ^{**} | -0.179 ^{**} | 0.375 ^{**} |
| | Semi-urban | -0.589 ^{**} | -0.547 ^{**} | -0.605 ^{**} | 0.140 ^{**} | 0.429 ^{**} | 0.216 ^{**} | 0.223 ^{**} | 0.427 ^{**} | 0.474 ^{**} | 0.474 ^{**} | 0.190 ^{**} | 0.375 ^{**} |
| <i>Olea</i> | City centre | 0.264 [*] | 0.224 ^{**} | 0.244 [*] | -0.426 ^{**} | -0.151 [*] | 0.149 ^{**} | 0.223 ^{**} | 0.091 [*] | 0.126 [*] | 0.201 ^{**} | -0.203 ^{**} | 0.516 ^{**} |
| | Semi-urban | 0.319 ^{**} | 0.224 ^{**} | 0.297 ^{**} | -0.426 ^{**} | -0.151 [*] | 0.149 ^{**} | 0.223 ^{**} | 0.091 [*] | 0.126 [*] | 0.201 ^{**} | -0.203 ^{**} | 0.516 ^{**} |
| <i>Plantago</i> | City centre | 0.402 ^{**} | 0.273 ^{**} | 0.382 ^{**} | -0.285 ^{**} | -0.487 ^{**} | 0.149 ^{**} | 0.500 ^{**} | 0.388 ^{**} | -0.388 ^{**} | 0.201 ^{**} | -0.203 ^{**} | 0.516 ^{**} |
| | Semi-urban | 0.402 ^{**} | 0.273 ^{**} | 0.382 ^{**} | -0.285 ^{**} | -0.487 ^{**} | 0.149 ^{**} | 0.500 ^{**} | 0.388 ^{**} | -0.388 ^{**} | 0.201 ^{**} | -0.203 ^{**} | 0.516 ^{**} |
| <i>Platanus</i> | City centre | -0.329 ^{**} | -0.269 ^{**} | -0.357 ^{**} | 0.324 ^{**} | 0.324 ^{**} | 0.183 ^{**} | 0.282 ^{**} | -0.100 [*] | 0.149 ^{**} | 0.149 ^{**} | -0.162 ^{**} | 0.511 ^{**} |
| | Semi-urban | -0.329 ^{**} | -0.269 ^{**} | -0.357 ^{**} | 0.324 ^{**} | 0.324 ^{**} | 0.183 ^{**} | 0.282 ^{**} | -0.100 [*] | 0.149 ^{**} | 0.149 ^{**} | -0.162 ^{**} | 0.511 ^{**} |
| Poaceae | City centre | 0.364 ^{**} | 0.268 ^{**} | 0.340 ^{**} | -0.188 ^{**} | -0.537 ^{**} | 0.137 ^{**} | -0.182 ^{**} | 0.091 [*] | 0.292 ^{**} | 0.292 ^{**} | -0.126 ^{**} | 0.538 ^{**} |
| | Semi-urban | 0.530 ^{**} | 0.455 ^{**} | 0.531 ^{**} | -0.187 ^{**} | -0.517 ^{**} | 0.137 ^{**} | -0.182 ^{**} | 0.091 [*] | 0.292 ^{**} | 0.292 ^{**} | -0.126 ^{**} | 0.538 ^{**} |
| <i>Rumex</i> | City centre | -0.225 ^{**} | -0.312 ^{**} | -0.269 ^{**} | -0.187 ^{**} | -0.517 ^{**} | 0.137 ^{**} | -0.175 ^{**} | -0.130 [*] | 0.126 [*] | 0.134 [*] | -0.166 ^{**} | 0.390 ^{**} |
| | Semi-urban | -0.342 ^{**} | -0.377 ^{**} | -0.387 ^{**} | -0.187 ^{**} | -0.517 ^{**} | 0.137 ^{**} | -0.175 ^{**} | -0.130 [*] | 0.126 [*] | 0.134 [*] | -0.166 ^{**} | 0.390 ^{**} |
| Urticaceae | City centre | 0.289 ^{**} | 0.240 ^{**} | 0.288 ^{**} | -0.145 ^{**} | -0.341 ^{**} | 0.162 ^{**} | -0.136 ^{**} | -0.136 ^{**} | 0.225 ^{**} | 0.225 ^{**} | -0.187 ^{**} | 0.390 ^{**} |
| | Semi-urban | 0.289 ^{**} | 0.240 ^{**} | 0.288 ^{**} | -0.145 ^{**} | -0.341 ^{**} | 0.162 ^{**} | -0.136 ^{**} | -0.136 ^{**} | 0.225 ^{**} | 0.225 ^{**} | -0.187 ^{**} | 0.390 ^{**} |
| Total | City centre | 0.333 ^{**} | 0.246 ^{**} | 0.315 ^{**} | -0.113 ^{**} | -0.482 ^{**} | 0.246 ^{**} | -0.166 ^{**} | -0.166 ^{**} | 0.162 ^{**} | 0.162 ^{**} | -0.242 ^{**} | 0.445 ^{**} |
| | Semi-urban | 0.264 ^{**} | 0.169 ^{**} | 0.240 ^{**} | -0.082 [*] | -0.374 ^{**} | 0.194 ^{**} | -0.110 ^{**} | -0.110 ^{**} | 0.132 ^{**} | 0.132 ^{**} | -0.167 ^{**} | 0.370 ^{**} |

T_{mean} , mean daily average temperature (°C); T_{max} , maximum daily average temperature (°C); T_{min} , minimum daily average temperature (°C); R , total daily rainfall (mm); RH , daily average relative humidity (%); WS , daily average wind speed (km/h); $Wind NE$, daily average frequency of north-easterly winds (%); $Wind SE$, daily average frequency of south-easterly winds (%); $Wind SW$, daily average frequency of south-westerly winds (%); $Wind NW$, daily average frequency of north-westerly winds (%); CF , daily average frequency of calms (%); $Sunshine$, daily average sunshine (hours)

* Significance level at 95%

** Significance level at 99%

^a Correlation with meteorological parameters using the whole sampling year instead of the APS period

have higher values in this location. This value only changes in the case of *Olea* and was more abundant in the centre of the city. This can be explained because these types of trees are more frequent in the interior of the city. In addition, the use of olive trees as an ornamental tree (*Olea europea* L.) is recently becoming more popular. Charalampopoulos et al. (2018) obtained similar results in their study on the pollen content and vegetation surrounding the traps; pollen from *Olea* was one of the most abundant types, which may have been related to the number of olive trees in the city.

It is possible that depending on the number of years analysed, the coefficients could varied from higher to lower. In the previous study with only one year data, the coefficients were higher compared to the present work developed along two years. In that sense, comparing the correlations values obtained between pollen grains and meteorological parameters to the results obtained in other survey made in Salamanca city centre along eight years analysing Cupressaceae pollen type (Rodríguez de la Cruz et al. 2015), we could observe that the coefficients obtained between pollen grains and meteorological factors were lower than those obtained in our study for the same pollen type. The trend is similar to the results showed in Table 2, where the correlations from one year were higher than those obtained for the whole sampling period, especially during 2015. This could be explained by the interannual differences from pollen grains in the atmosphere. That factor changes from one year to another, depending on the pollen emissions or the garden management as pruning or fires coming from outside of the city. These reasons provided the need of analyse more years due to, the more years of analysis, more accurate the results will be. In a future work, the results obtained in this survey will be compared with longer term data in order to confirm the suitability of using one or more samplers.

Atmospheric Pollen Season analysis

The APS of Amaranthaceae can be explained by the fact that 50% of the annual rainfall occurred prior to flowering (Fig. 5). This condition favoured the growth of plants within the Amaranthaceae family (Cariñanos et al. 2014). However, this rainfall hardly had an effect on the location where centre sampler was situated, since the abundance of this herbaceous type in urban gardens was low.

In the case of Poaceae, the start of the pollen season, as detected by each sampler, differed by a month. The adjacent fields surrounding the semi-urban sampler (some farmland and natural green areas) were not as affected by local activities, such as pruning and mowing, (Rodríguez de la Cruz et al. 2007) leading to a larger number of grasses near this collector make an early APS start. Within cities, gardening induces a late flowering of this pollen type. Another study carried out in Croatia (Peternel et al. 2005) obtained a similar peak value as that found in centre sampler during 2015 for a Poaceae peak day occurring in May. Also, the amount of rain was recorded during April and June of this same year.

There are also differences between the samplers with respect to the duration of the APS. While only one pollen type was detected that exceeded 300 days in the air, according to the centre sampler, in the periphery more types were recorded with values ranging between 200 and 300 days. In the case of Cupressaceae and *Fraxinus*, it was not possible to collect data in January because the pollen sampler began to capture pollen in mid-February. This means that 90% of the pollen season occurred between February 2014 and February 2015. This result is in line with the results reported for other authors for similar sampling days (Uguz et al. 2017). The presence of Cupressaceae pollen grains during October and November has also been reported by other authors, such as Díaz de la Guardia et al. (2006) and Rodríguez de la Cruz et al. (2010), where the APS had been extended including these months. For this reason, the APS of these types is not real, since as other authors previously commented, the seasonal pattern of Cupressaceae and *Fraxinus* ranges from January to March (Jato et al. 2004; Gomes et al. 2019). Another pattern that differs between samplers was that detect for *Olea*. In the city centre, the APS this pollen type was typically found between May and June (Fernández Rodríguez et al. 2016), while in the semi-urban, pollen grains of this type appeared out of season. This is a peculiar result, however, other studies have found *Olea* pollen in September (Pérez Badia et al. 2011; Tosunoglu et al. 2015), which means that under the right conditions the flowering period can be displaced from the main season. Although many of the pollen grains were counted between May and June (Fig. 3), we continued to find pollen during July, August, and September. Individual grains were even found in autumn, which caused an increase in the total concentration of this type, as well as the displacement of the pollen season according to the

90% method (Nilsson and Persson 1981). As a result, this atypical pattern will be analysed in future studies to try to identify the origin of the pollen.

The case of *Platanus* is more standard with a low APS duration that is restricted to April (Iglesias et al. 2007; Sánchez Reyes et al. 2009), and as in other pollen types, longer in the semi-urban environment. The remaining herbaceous types, *Plantago*, *Rumex*, and Urticaceae, had starting dates similar to those observed in other studies (Kasprzyk 2006), but the duration of Urticaceae obtained irregular values during the two years, which coincides with other published results (Emberlin and Norris Hill 1991; Hamda et al. 2017). With respect to *Plantago* and *Rumex*, this study coincides with the research carried out by Kruczek et al. (2017), where these pollen types have more presence in the month of May. At last, the irregular pattern of the presence of Urticaceae in the atmosphere (Fig. 4) corresponds to that pointed out by other authors who indicated a prolonged period and the existence of two peaks, one between March and April and the other between May and June (Trigo et al. 1996).

Correlations with meteorological parameters

Differences were found in the meteorology of the two years analysed, which may have contributed to certain changes in pollen distribution. We observed that 2014 was a normal year without very high temperatures and separated into two seasons (cold season with an average temperature below 10 °C from November to April and a warm season with an average temperature above 15 °C from May to October, with April and October being the transition months). Rainfall was evenly distributed throughout the year except in summer, which is typical for this region (Capel Molina 2000). On the contrary, 2015 has a different pattern, since the rain registered during April and June was the most abundant during the entire year. In addition, December was warmer in 2015 than in 2014, with temperature that were twice as high.

Regarding meteorological correlations, wind speed (especially for anemophilous species) and hours of sunshine were positively correlated, depending on certain moments of the day, as other authors have previously pointed out (Ščevková et al. 2015). Only in the case of Cupressaceae, *Fraxinus* and *Platanus* did relative humidity positively coincide for all three, in the periphery. Several studies have indicated that after rainfall, and consequently high levels of relative humidity, does the

presence of pollen grains increases in the atmosphere (Norris Hill and Emberlin 1991; Rodríguez de la Cruz et al. 2008; Sánchez Reyes et al. 2009). Furthermore, the semi-urban location was affected more by rain and relative humidity, since it was located in a spot that was free of building and walls.

Certainly, meteorological parameters have a direct impact on pollen levels, especially in the semi-urban. Within the city, factors such as rainfall, temperature and the direction of wind flow behave differently due to a phenomenon called urban heat islands (Mirzaei 2015). In addition, street distribution can also cause changes in airflow (Janhäll 2015).

With respect to these two points, we can better understand the high amount of pollen grains collected by samplers 1 and 2. Olive trees are frequently planted owing to their decorative value, and grow in high temperatures and long hours of sunlight, as other authors have found in southern Spain (Recio et al. 1996). Moreover, northwestern and southwestern winds were found to be strong in the city centre. This was probably due to the large expansion of olive trees in Portugal and Extremadura (Ribeiro et al. 2008; Fernández Rodríguez et al. 2016) and also due to the increase in planting olive trees in the city centre. The other pollen types showing positive correlations with temperature were Amaranthaceae, *Plantago* and Urticaceae in the semi-urban and Poaceae in both zones. For Amaranthaceae, *Plantago* and Urticaceae, the hours of solar radiation were equally important, and also in the semi-urban, due to the frequent appearance of these herbaceous types, which were more often present in this semi-natural environment than in the city centre (Kasprzyk 2006). As we know, these pollen types have their APS during the warm season, especially pollen from the family Amaranthaceae (Rodríguez de la Cruz et al. 2012). For Poaceae, the APS is widely distributed (Fernández Rodríguez et al. 2015), but this type coincides for the centre and the semi-urban and the peak day is either on the same day or very close to each other.

The pollen types of winter flowering plants, such as Cupressaceae and *Fraxinus* (*Betula* and *Platanus* at the beginning of spring), differ from those types that are produced during the warm season (Amaranthaceae, *Plantago*, Poaceae and Urticaceae). These taxa obtained negative correlations with temperature. *Fraxinus*, as reported in another study, seems to have a similar behaviour with regard to temperature (Oduber et al. 2019) but, as several authors have concluded, temperature and

periods of frost in the pre-flowering season affect pollen dispersal (Jato et al. 2004). The coefficients obtained for *Betula* were nonsignificant at the centre and the semi-urban, except for the maximum temperature in the city centre, probably due to its presence in April when temperatures begin to increase. Also, the correlation with southeastern winds in the semi-urban sampler coincides with the presence of forests containing *Betula* trees in natural areas.

The case of *Platanus* is particular, due to its negative correlation with the temperature and with the hours of sunlight in the semi-urban, being positive in the centre sampler. These results were obtained in a similar study carried out in Salamanca and Valladolid (Sánchez Reyes et al. 2009). The explanation for the values obtained was that while temperatures and the number of hours of sunshine increase, pollen concentration tends to decrease due to its seasonal pattern.

The results obtained for *Rumex* can be explained in a similar way to those of *Platanus*. The seasonal pattern of this type of pollen occurs between April–May and early June, before the beginning of summer and higher temperatures. When the temperature begins to increase, the presence of this pollen decreases, which causes a negative correlation with this parameter. According to the seasonal pattern, the trends were similar to other works with two peaks: the first in May and the second at the beginning of June (Fig. 4), due to the flowering of different species of the type (Silva et al. 1998). Although in the literature there are not many articles that study this type of pollen and its relationship with meteorological parameters, García Mozo et al. (2007) obtained low correlation values in the city of Cordoba. Also, Kruczek et al. (2017) showed high correlations and higher pollen levels in rural areas than in cities. However, this study was carried out in Poland, a country with lower temperatures than Spain. Finally, total pollen concentration acquired correlations of the most abundant type (Poaceae) with temperature and sunlight hours positively correlated and relative humidity and rainfall negatively correlated.

Conclusions

There were statistically significant correlations between the pollen content collected by both samplers. Regarding the coefficients obtained, the correlations were higher for the most abundant pollen types. The use of

allergenic trees as ornamental elements and the presence of Poaceae in the proximity of the city lead to be these pollen types very prevalent in the atmosphere.

According to the number of days with high risk levels, we found differences between the two areas. The city centre location might cause more problems for people/citizens allergic to *Olea* and *Platanus* pollens, and in the areas outside the city centre Amaranthaceae, Poaceae, and Urticaceae pollen could be more conflictive for people allergic to these types of herbaceous plants. For Cupressaceae and *Fraxinus* pollen, the level of risk may vary depending on the year and weather factors.

The distribution of pollen grains in the atmosphere is related to climatic conditions, and the total pollen levels differed at the two locations, being more abundant in the semi-urban. One year was warmer than the other, and rainfall levels were also distributed differently throughout the two-year period. This influenced the development of pollen types, such as *Olea*, *Platanus*, Poaceae, and *Plantago*.

Acknowledgements

The authors thank Emma Keck, Central Language Service, University of Salamanca, for the English translation and language supervision.

References

- Alcázar, P., Cariñanos, P., De Castro, C., Guerra, F., Moreno, C., Domínguez Vilches, E., & Galán, C. (2004). Airborne plane-tree (*Platanus hispanica*) pollen distribution in the city of Cordoba, South-western Spain, and possible implications on pollen allergy. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, *14*, 238–243.
- Alcázar, P., Stach, A., Nowak, M., & Galán, C. (2009). Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland). *Aerobiologia*, *25*, 55–63.
- Andersen, T. B. (1991). A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana*, *30*, 269–275.
- Anero Bartolomé, M. T., Carabias Martín, F., Carretero Anibarro, P., Cordon Marcos, C., Cuesta Herranz, C., De Castro Alfageme, S., De Miguel de Pedro, R., De Zafra Cañas, M. L., Feo Martínez, M. C., Fernández González, D., Fuertes Rodríguez, C. R., Gangoso Ares, M. J., García Casares, R., García Herrero, I., González Parrado, Z., Miguélez Perez, C., Nohales Escribano, M. I., Pardo Criado, P., Ramos Amador, C., Sánchez Lozano, M. T., Sánchez Reyes, E., Valencia

- Barreda, R. M., Varela Cerviño, P., Vega Maray, A. M., & Villanueva Estebán, J. M. (2008). *Aerobiología y polinosis en Castilla y León*. Junta de Castilla y León.
- Bruffaerts, N., De Smedt, T., Delcloo, A., Simons, K., Lucie Hoebeke, L., Verstraeten, C., Van Nieuwenhuysse, A., Packeu, A., & Hendrickx, M. (2018). Comparative long-term trend analysis of daily weather conditions with daily pollen concentrations in Brussels, Belgium. *International Journal of Biometeorology*, *62*, 483–491.
- Capel Molina, J. (2000). *El clima de la Península Ibérica*. Ed. Ariel geográfica.
- Cariñanos, P., & Casares Porcel, M. (2011). Urban green zones and related pollen allergy: a review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. *Landscape and Urban Planning*, *101*, 205–2014.
- Cariñanos, P., Alcázar, P., Galán, C., & Domínguez, E. (2014). Environmental behaviour of airborne Amaranthaceae pollen in the Southern part of the Iberian Peninsula, and its role in future climate scenarios. *Science of the Total Environment*, *470*, 480–487.
- Cariñanos, P., Casares Porcel, M., Díaz de la Guardia, C., Aira, M. J., Belmonte, J., Boi, M., Elvira Rendueles, B., De Linares, C., Fernández Rodríguez, S., Maya Manzano, J. M., Pérez Badia, R., Rodríguez de la Cruz, D., Rodríguez Rajo, F. J., Rojo Úbeda, J., Romero Zarco, C., Sánchez Reyes, E., Sánchez, J., Tormo Molina, R., & Vega Maray, A. M. (2017). Assessing allergenicity in urban parks: a nature-based solution to reduce the impact on public health. *Environmental Research*, *155*, 219–227.
- Charalampopoulos, A., Lazarina, M., Tsiropidis, I., & Vokou, D. (2018). Quantifying the relationship between airborne pollen and vegetation in the urban environment. *Aerobiologia*, *34*, 285–300.
- D'Amato, G., & Lobefalo, G. (1989). Allergenic pollens in the southern Mediterranean area. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *83*, 116–122.
- Díaz de la Guardia, C., Alba, F., De Linares, C., Nieto Lugalde, D., & López Caballero, J. (2006). Aerobiological and allergenic analysis of Cupressaceae pollen in Granada (Southern Spain). *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, *16*, 24–33.
- Emberlin, J., & Norris Hill, J. (1991). Annual, daily and diurnal variation of Urticaceae pollen in North-central London. *Aerobiologia*, *7*, 49–57.
- Fernández Rodríguez, S., Adams Groom, B., Silva Palacios, I., Caeiro, E., Brandao, R., Ferro, R., Gonzalo Garijo, A., Smith, M., & Tormo Molina, R. (2015). Comparison of Poaceae pollen counts recorded at sites in Portugal, Spain and the UK. *Aerobiologia*, *31*, 1–10.
- Fernández Rodríguez, S., Durán Barroso, P., Silva Palacios, I., Tormo Molina, R., Maya Manzano, J. M., & Gonzalo Garijo, A. (2016). Regional forecast model for the *Olea* pollen season in Extremadura (SW Spain). *International Journal of Biometeorology*, *60*, 1509–1517.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016). *Benefits of urban trees*. <http://www.fao.org/forestry/urbanforestry/en/>
- Fountain, D. W., & Cornford, C. A. (1991). Aerobiology and allergenicity of *Pinus radiata* pollen in New Zealand. *Grana*, *30*, 71–75.
- Fuentes, S., Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez, J., & Sánchez, E. (2019). Analysis of the airborne fungal spores present in the atmosphere of Salamanca (MW Spain): a preliminary survey. *Aerobiologia*, *35*, 447–462.
- Galán, C., Emberlin, J., Domínguez, E., Bryant, R. H., & Villamandos, F. (1995). A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana*, *34*, 189–198.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., & Domínguez, E. (2007). *Spanish aerobiology network (REA: Management and quality manual*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba 2007. http://www.uco.es/rea/infor_rea/manual_eng.pdf.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., Berger, U., Clot, B., Brandao, R., & EAS QC Working Group. (2014). Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*, *30*, 385–395.
- Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernandez González, D., Frenguelli, G., Gehrig, R., Isard, S., Levetin, E., Li, D. W., Mandrioli, P., Rogers, C. A., Thibaudon, M., Sauliene, I., Skjoth, C., Smith, M., & Sofiev, M. (2017). Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, *33*, 293–295.
- García Mozo, H., Domínguez Vilches, E., & Galán, C. (2007). Airborne allergenic pollen in natural areas: Hornachuelos Natural Park, Cordoba, Southern Spain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *14*, 63–69.
- Gharbi, D., Brighetti, M. A., Travaglini, A., & Trigo, M. M. (2017). Comparison between the counting methods used by two aerobiology networks in southern Europe (Spain and Italy). *Aerobiologia*, *33*, 87–92.
- Gomes, C., Ribeiro, H., & Abreu, I. (2019). Aerobiology of Cupressaceae in Porto city, Portugal. *Aerobiologia*, *35*, 97–103.
- Gonzalo Garijo, M. A., Tormo Molina, R., Muñoz Rodríguez, A. F., & Silva Palacios, I. (2006). Differences in the spatial distribution of airborne pollen concentrations at different urban locations within a city. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, *16*, 37–43.
- Grant Smith, E. (2000). *Sampling and identifying allergenic pollens and molds*. San Antonio: Blewstone Press.
- Hamda, S. H., Dhiab, A. B., Galán, C., & Msallem, M. (2017). Pollen spectrum on Northern Tunisia, Tunisia. *Aerobiologia*, *33*, 243–251.
- Hamda, S. H., Ben Dhiab, A., Msallem, M., & Larbi, A. (2019). Comparative study of airborne pollen from the Northern to the Southern of Tunisia. *Asian Journal of Biology*, *8*, 1–8.
- Hirst, J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, *39*, 257–265.
- Iglesias, I., Rodríguez Rajo, F. J., & Méndez, J. (2007). Behaviour of *Platanus hispanica* pollen, an important spring aeroallergen in Northwestern Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, *17*, 145–156.
- Jäger, S., Nilsson, S., Berggren, B., Pessi, A. M., Helander, M., & Ramfjord, H. (1996). Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980–1993. *Grana*, *35*, 171–178.

- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and article air pollution—deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, *105*, 130–137.
- Jato, V., Rodríguez Rajo, F. J., Dacosta, N., & Aira, M. J. (2004). Heat and chill requirements of *Fraxinus* flowering in Galicia (NW Spain). *Grana*, *43*, 217–223.
- Jato, V., Rodríguez Rajo, F. J., Alcázar, P., De Nuntis, P., Galán, C., & Mandrioli, P. (2006). May the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerobiologia*, *22*, 13–25.
- Karatzas, K., Tsiamis, A., Charalampopoulos, A., Damialis, A., & Vokou, D. (2019). Pollen season identification for three pollen taxa in Thessaloniki, Greece: a 30-year retrospective analysis. *Aerobiologia*, *35*, 659–669.
- Kasprzyk, I. (2006). Comparative study of seasonal and intradiurnal variation of airborne herbaceous pollen in urban and rural areas. *Aerobiologia*, *22*, 185–195.
- Khattab, A., & Levetin, E. (2008). Effect of sampling height on the concentration of airborne fungal spores. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, *101*, 529–534.
- Kruczek, A., Puc, M., & Wolski, T. (2017). Airborne pollen from allergenic herbaceous plants in urban and rural areas of Western Pomerania, NW Poland. *Grana*, *56*, 71–80.
- Kubik Komar, A., Piotrowska Weryszko, K., Weryszko Chmielewska, E., & Kaszewski, B. M. (2018). Analysis of *Fraxinus* pollen seasons and forecast models based on meteorological factors. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *25*, 285–291.
- Leontidou, K., Vernesi, C., De Groeve, J., Cristofolini, F., Vokou, D., & Cristofori, A. (2018). DNA metabarcoding of airborne pollen: new protocols for improved taxonomic identification of environmental samples. *Aerobiologia*, *34*, 63–74.
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water heat, and pollution cycles at the tree, street and city scale. *Journal of Environmental Quality*, *45*, 119–124.
- Marini, S., Buonanno, G., Stabile, L., & Avino, P. (2015). A benchmark for numerical scheme validation of airborne particle exposure in street canyons. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*, 2051–2063.
- Martínez Bracero, M., Alcázar, P., Díaz de la Guardia, C., González Minero, F. J., Ruiz, L., Trigo Pérez, M. M., & Galán, C. (2015). Pollen calendars: a guide to common airborne pollen in Andalusia. *Aerobiologia*, *31*, 549–557.
- Méndez, J., Comtois, P., & Iglesias, I. (2005). *Betula* pollen: one of the most important aeroallergens in Ourense, Spain. Aerobiological studies from 1993 to 2000. *Aerobiologia*, *21*, 115–123.
- Mirzaei, P. A. (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, *19*, 200–206.
- Monroy Colín, A., Silva Palacios, I., Tormo Molina, R., Maya Manzano, J. M., Fernández Rodríguez, S., & Gonzalo Garjón, A. (2018). Environmental analysis of airborne pollen occurrence, pollen source distribution and phenology of *Fraxinus angustifolia*. *Aerobiologia*, *34*, 269–283.
- Mullaney, J., Lucke, T., & Trueman, S. J. (2015). A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, *134*, 157–166.
- Newman, J. E., Anenberg, S. C., Weinberger, K. R., Amend, M., Gulati, S., Crimmins, A., Roman, H., Fann, N., & Kinney, P. L. (2019). Estimates of present and future asthma emergency department visits associated with exposure to oak, birch and grass pollen in the United States. *GeoHealth*, *3*, 11–27.
- Nilsson, S., & Persson, S. (1981). Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden) 1973–1980. *Grana*, *20*, 179–182.
- Norris Hill, J., & Emberlin, J. (1991). Diurnal variation of pollen concentration in the air of north-central London. *Grana*, *30*, 229–234.
- Oduber, F., Calvo, A. I., Blanco Alegre, C., Castro, A., Vega Maray, A. M., Valencia Barrera, R. M., Fernández González, D., & Fraile, R. (2019). Links between recent trends in airborne pollen concentration, meteorological parameters and air pollutants. *Agricultural and Forest Meteorology*, *264*, 16–26.
- Oueslati, W., Alvanides, S., & Garrod, G. (2015). Determinants of urban sprawl in European cities. *Urban Studies*, *52*, 1594–1614.
- Patel, T. Y., Buttner, M., Rivas, D., Cross, C., Bazylinski, D. A., & Seggev, J. (2018). Variation in airborne fungal spore concentrations among five monitoring locations in a desert urban environment. *Environmental Monitoring Assessment*, *190*, 634.
- Pauling, A., Rotach, M. W., Gehrig, R., & Clot, B. (2012). A method to derive vegetation distribution maps for pollen dispersion models using birch as an example. *International Journal of Biometeorology*, *56*, 949–958.
- Pérez Badía, R., Rapp, A., Vaquero, C., & Fernández González, F. (2011). Aerobiological study in East-Central Iberian Peninsula: pollen diversity and dynamics for major taxa. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *18*, 99–111.
- Peternel, R., Hrga, I., Hercog, P., & Čulig, J. (2005). Poaceae pollen concentrations in the atmosphere of three inland Croatian sites (2003–2004). *Collegium Antropologicum*, *29*, 671–676.
- Plaza, M. P., Alcázar, P., & Galán, C. (2016). Correlation between airborne *Olea europaea* pollen concentrations and levels of the major allergen Ole e 1 in Córdoba, Spain, 2012–2014. *International Journal of Biometeorology*, *60*, 1841–1847.
- Puljack, T., Mamić, M., Mitić, B., Hrga, I., & Hruševar, D. (2016). Environmental study in Mediterranean part of Croatia (Dalmatia): pollen spectrum and seasonal dynamics in the air of Split. *Aerobiologia*, *32*, 709–723.
- Recio, M., Cabezudo, B., Trigo, M. M., & Toro, F. J. (1996). *Olea europaea* pollen in the atmosphere of Málaga (S. Spain) and its relationship with meteorological parameters. *Grana*, *35*, 308–313.
- Recio, M., Trigo, M. M., Toro, F. J., Docampo, S., García González, J. J., & Cabezudo, B. (2006). A three-year aeropalynological study in Estepona (Southern Spain). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *13*, 201–207.
- Ribeiro, H., & Abreu, I. (2014). A 10-year survey of allergenic airborne pollen in the city of Porto. *Aerobiologia*, *30*, 333–344.
- Ribeiro, H., Oliveira, M., & Abreu, I. (2008). Intradiurnal variation of allergenic pollen in the city of Porto (Portugal). *Aerobiologia*, *24*, 173–177.
- Rivas Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España [Memoria del

- Mapa de Vegetación Potencial de España. Parte IJ. *Itinera Geobotánica*, 17(1), 1–436.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., & Sánchez, J. (2007). Análisis aerobiológico del polen de algunos taxa entomófilos en la ciudad de Salamanca. *Studia Botanica*, 26, 67–76.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., & Sánchez, J. (2008). Aerobiological study of Fagaceae pollen in the middle-west of Spain. *Aerobiologia*, 24, 67–76.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., Dávila González, I., Lorente Toledano, F., & Sánchez, J. (2010). Airborne pollen calendar of Salamanca, Spain, 2000–2007. *Allergologia et Immunopathologia*, 38, 307–312.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., & Sánchez, J. (2012). Analysis of Chenopodiaceae-Amaranthaceae airborne pollen in Salamanca, Spain. *Turkish Journal of Botany*, 36, 336–343.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., & Sánchez, J. (2015). A contribution to the knowledge of Cupressaceae airborne pollen in the middle west of Spain. *Aerobiologia*, 31, 435–444.
- Rodríguez de la Cruz, D., Dávila, I., Sánchez, E., Lorente, F., & Sánchez, J. (2016). Comparison of pollen levels between 2 pollen traps in Salamanca, Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 26, 111–143.
- Rojó, J., Oteros, J., Pérez Badia, R., Cervigón, P., Ferencova, Z., Gutiérrez Bustillo, A. M., Bergmann, K. C., Oliver, G., Thibaudon, M., Albertini, R., Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E., Sánchez, J., Pessi, A. M., Reiniharju, J., Saarto, A., Calderón, M. C., Guerrero, C., Berra, D., Bonini, M., Chioldini, E., Fernández González, D., García, J., Trigo, M. M., Myszkowska, D., Fernández González, S., Tormo Molina, S., Damialis, A., Kolek, F., Traidl Hoffmann, C., Severova, S., Caeiro, E., Ribeiro, H., Magyar, D., Makra, L., Udvardy, O., Alcázar, P., Galán, C., Borycka, K., Kasprzyk, I., Newbiggin, E., Adams Groom, B., Apangu, G. P., Frisk, C. A., Skjøth, C. A., Radisic, P., Šikoparija, B., Celenk, S., Schmidt Weber, C. B., & Buters, J. (2019). Near-ground effect of height on pollen exposure. *Environmental Research*, 174, 160–169.
- Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchis Merino, M. E., & Sánchez, J. (2009). First results of *Platanus* pollen airborne content in the Middle-West of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 25, 209–215.
- Ščevková, J., Dušička, J., Mičieta, K., & Somorčík, J. (2015). Diurnal variation in airborne pollen concentration of six allergenic tree taxa and its relationship with meteorological parameters. *Aerobiologia*, 31, 457–468.
- Silva, I., Muñoz, A. F., & Tormo, R. (1998). Aerobiología en Extremadura: estación de Badajoz (1997). *Boletín Rea*, 4, 95–98.
- Tormo Molina, R., Muñoz Rodríguez, A., Silva Palacios, I., & Gallardo López, F. (1996). Pollen production in anemophilous trees. *Grana*, 35, 38–46.
- Tosunoglu, A., Altunoglu, M. K., Bicakci, A., Kilic, O., Gonca, T., Yilmazer, I., Saatcioglu, G., Akkaya, A., Celenk, S., Canitez, Y., Malyer, H., & Sapan, N. (2015). Atmospheric pollen concentrations in Antalya, South Turkey. *Aerobiologia*, 31, 99–109.
- Tosunoglu, A., Saatcioglu, G., Bekil, S., Malyer, H., & Bicakci, A. (2018). Atmospheric pollen spectrum in Stone City, Mardin; the northern border of Mesopotamia/SE-Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*, 190, 635.
- Trigo, M. M., Cabezudo, B., Recio, M., & Toro, F. J. (1996). Annual, daily and diurnal variations of Urticaceae airborne pollen in Málaga (Spain). *Aerobiologia*, 12, 85–90.
- Trigo, M. M., Toro, F. J., Recio, M., & Cabezudo, B. (2000). A statistical approach to comparing the results from different aerobiological stations. *Grana*, 39, 252–258.
- Uguz, U., Guvensen, A., & Tort, N. S. (2017). Annual and intradiurnal variation of dominant airborne pollen and the effects of meteorological factors in Çeşme (Izmir, Turkey). *Environmental Monitoring Assessment*, 189, 530.
- Valdés, B., Díez, M. J., & Fernández, I. (1987). *Atlas polínico de Andalucía occidental*. Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Sevilla, Excm. Diputación de Cádiz.
- Vara, A., Fernández González, M., Aira, M. J., & Rodríguez Rajo, F. J. (2016). *Fraxinus* pollen and allergen concentrations in Ourense (South-western Europe). *Environmental Research*, 147, 241–248.
- Varela, S., Subiza, J., Subiza, J. L., Rodríguez, R., García, B., Jerez, M., Jiménez, J. A., & Panzani, R. (1997). *Platanus* pollen as an important cause of pollinosis. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 6, 748–754.
- Velasco Jiménez, M. J., Alcázar, P., Domínguez Vilches, E., & Galán, C. (2013). Comparative study of airborne pollen counts located in different areas of the city of Cordoba (South-Western Spain). *Aerobiologia*, 29, 113–120.
- Zitti, M., Ferrara, C., Perini, L., Carlucci, M., & Salvati, L. (2015). Long-term urban growth and land use efficiency in Southern Europe: implications for sustainable land management. *Sustainability*, 7, 3359–3385.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

CAPÍTULO IV

Discusión

‘Nada ocurre por casualidad. Todo lo que pasa tiene su porqué. Tal vez tu cerebro no lo sepa, puede que jamás se lo imagine. Pero tu corazón lo sabe. Tu corazón siempre lo sabe’

- La forja de un Túnica Negra

DISCUSIÓN GENERAL DE LOS DATOS. PUBLICACIÓN DE RESULTADOS

En este estudio sobre el contenido aerobiológico de la atmósfera de Salamanca, se contabilizaron un total de 57 tipos de esporas fúngicas y 47 tipos de polen. Nuestra investigación, realizada con una serie temporal de dos años, comprendidos de febrero de 2014 a febrero de 2016, obtuvo resultados similares a otras realizadas tanto en España (Rodríguez de la Cruz, 2009; Sánchez Reyes, 2011), como en otras investigaciones a lo largo del mundo (Almaguer et al., 2015; Martínez Blanco et al., 2016). El análisis de una serie temporal corta es bastante frecuente en este tipo de estudios preliminares, especialmente cuando no se tiene un conocimiento adecuado del aerosol atmosférico o cuando se realizan estudios por primera vez (Pérez Badia et al., 2011; Almaguer et al., 2015; Njokuocha et al., 2019).

A pesar de que el contenido atmosférico fue evaluado en su totalidad para granos de polen y esporas aerovagantes, la publicación de los resultados estuvo encaminada sobre todo hacia el contenido esporal, al tratarse de un tema novedoso y poco explorado en la ciudad de Salamanca. En lo referente a los datos polínicos, igualmente se publicaron resultados dirigidos a la comparativa entre zonas de la ciudad, por un lado, mientras que el resto de datos no incluidos en esta publicación, se expondrán en próximos artículos.

Para el primer trabajo publicado, al tratarse de la primera aproximación al contenido esporal de la ciudad, se seleccionaron aquellos tipos con implicaciones en la salud humana y los que superaron ciertos umbrales de cara a la realización del calendario fúngico (fig. 4.1). Los diez tipos seleccionados suponen un porcentaje del 96-97% del total, entre los dos años de estudio, estando el 2,5-3% restante, representado por esporas que estuvieron presentes en la atmósfera bien con un porcentaje inferior al 1% del total anual o bien aquellos que aparecieron de forma testimonial, por lo que su mención en este primer artículo, se realizó de forma meramente informativa al aportar la tabla con el total de esporas identificadas.

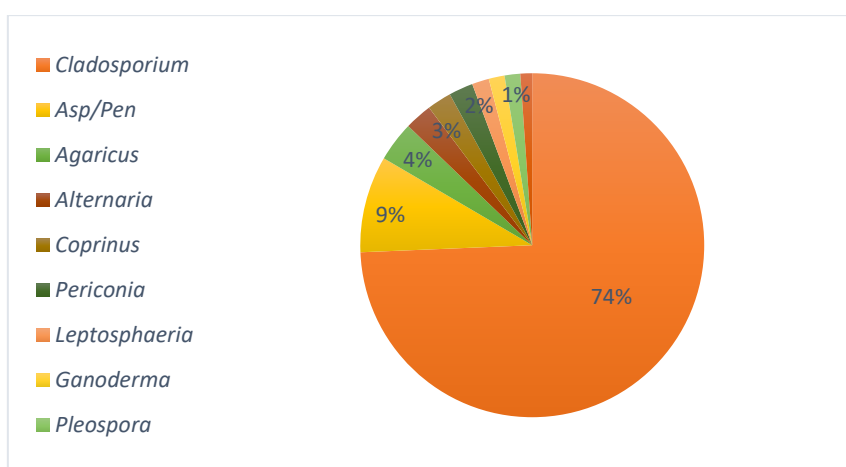


Figura 4. 1. Porcentajes totales de esporas fúngicas mayoritarias registradas durante el periodo de estudio (2014-2016).

Una vez contabilizado en su cómputo global el contenido de esporas aerovagantes, se comprobó que *Cladosporium* fue la espora más abundante del aerosol como han apuntado desde hace varias décadas estudios realizados a lo largo del mundo (Bhati & Gaur, 1979; Shaheen, 1992; Stępańska et al., 1999; Sadyś et al., 2015; Akgül et al., 2016; Ščevková & Kováč, 2019).

Otras esporas situadas inmediatamente detrás de *Cladosporium* por su abundancia fueron *Aspergillus/Penicillium*, *Agaricus* y *Coprinus* que, si bien, no presentan una potencialidad alergénica elevada (Hasnain et al., 2012), se situaron por delante de *Alternaria* la cual ha sido, sin embargo, registrada como una de las más abundantes en la atmósfera, tanto en ciudades cercanas a Salamanca (Sánchez Reyes et al., 2009a), como en zonas del mediterráneo (Akgül et al., 2016) e incluso en climas fríos al norte de Europa (Grinn Gofroń et al., 2016).

Gracias a la colaboración con el Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario de Salamanca en el desarrollo del proyecto mencionado en *Material y métodos. Tratamiento de los datos* (ver página 66), se pudo llevar a cabo un artículo complementario al primero, sobre la comparativa de esporas de *Alternaria* entre dos estaciones de muestreo. De esta manera, el contenido esporal de la ciudad de Salamanca quedaba caracterizado, al menos de manera preliminar, al publicar, por un lado, el primer calendario esporal de la ciudad, junto al estudio de la variación estacional, intradiaria, y las correlaciones con parámetros meteorológicos de las partículas fúngicas más abundantes de la atmósfera, y por otro, la comparativa de aspectos de distribución, estacionalidad, patrones intradiarios y correlaciones meteorológicas de *Alternaria* entre dos zonas de la ciudad, un tipo de espora con una importancia creciente debido a su implicación en procesos alérgicos (Bartra et al., 2009; Armentia et al., 2019).

Además del espectro fúngico, se contabilizó y evaluó el contenido polínico de la atmósfera. Aquellos tipos de polen representados en la figura 4.2 comprenden un porcentaje de representación total del 91-92%.

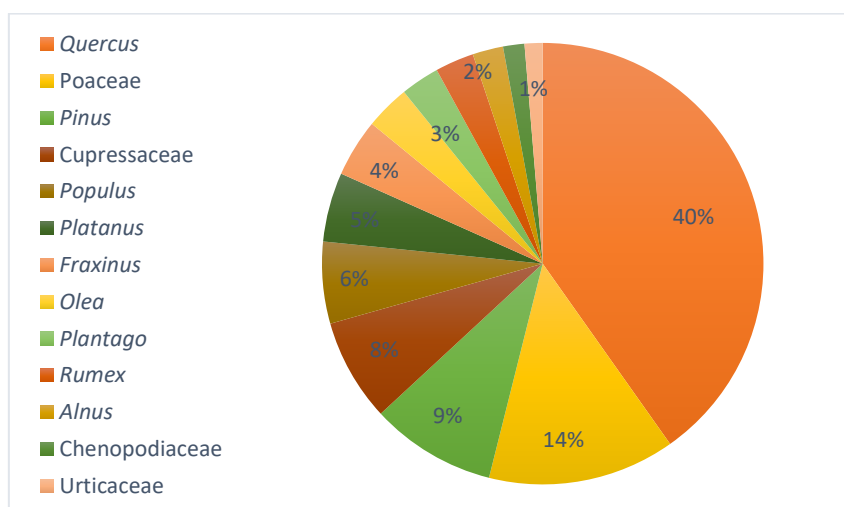


Figura 4. 2. Porcentajes totales de granos de polen mayoritario registrados durante el periodo de estudio (2014-2015).

De nuevo se contó con la colaboración entre el Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario y el Grupo de Palinología y Conservación Vegetal, con la cesión de los datos correspondientes a la estación de muestreo situada en el centro de la ciudad que fueron leídos durante los años 2014, 2015 y 2016. La disponibilidad de estos datos sumados a los obtenidos por el captador de la Universidad situado en la azotea de la Facultad de Farmacia permitió la publicación del tercer artículo contenido en esta Memoria Doctoral (página 239). Como puede apreciarse en el artículo publicado, sólo se tuvieron en cuenta diez tipos polínicos, a pesar de que el 92% de la representatividad total corresponde a los trece recogidos en la figura 4.2. Los tipos que no se tuvieron en cuenta en la realización de dicha publicación, fueron *Pinus*, *Populus* y *Quercus*, cuya exclusión se procede a discutir a continuación.

A pesar de que los cinco tipos más abundantes de la atmósfera de Salamanca, según los datos obtenidos por el captador de la Facultad de Farmacia fueron: *Quercus* con un 40%, Poaceae con un 14%, *Pinus* con un 9%, Cupressaceae con un 8% y *Populus* con un 6%, se optó por excluir estos datos de la comparativa ya publicada y emplearlos en la realización de otro artículo que profundizará en el comportamiento estacional y diario de dichas partículas así como su relación con los parámetros meteorológicos, tomando en cuenta únicamente los datos del captador de la Facultad de Farmacia, por los siguientes motivos. En el caso de *Populus*, los conteos de la zona seminatural, eran muy abundantes, ya que a escasos metros se encuentra la chopera del río Tormes, lo que provocaba una presencia bastante alta de granos de polen, mientras que en el captador del centro ciudad apenas estaban presentes, por lo que la comparativa con este tipo polínico arrojaba resultados sesgados, lo que llevó a no considerarlo. *Quercus*, a pesar de que fue el tipo de polen más abundante de todo el espectro, ocasiona una sintomatología poco intensa, aunque durante largo periodo de tiempo debido a su presencia prolongada en la atmósfera y el gran número de especies que lo componen (Anero Bartolomé et al., 2008). Además posee reactividad cruzada con tipos como *Betula* o *Castanea* (cuyos granos de polen se detectaron en concentraciones muy bajas en la atmósfera durante los años de estudio), *Olea* y gramíneas. Esto unido al hecho de que las Fagáceas que más potencial alergénico tienen son *Alnus*, *Betula* y *Corylus* (D'Amato et al., 2007), hizo que excluyéramos a *Quercus* de este estudio en particular. Por último, *Pinus* desde hace décadas se ha considerado como una fuente poco alergénica (Fountain & Cornford, 1991), pero se comienza a tener en cuenta en la mayoría de estudios que relacionan aerobiología y alergenicidad (Cariñanos et al., 2017). Por ello, al igual que los anteriores tipos, será tenido en consideración en un artículo independiente.

Añadir también, que este artículo publicado, complementario a los estudios en materia fúngica, tuvo su origen en la información de la cual se disponía, publicada previamente desde nuestro grupo de trabajo (Rodríguez de la Cruz et al., 2016), involucrando los mismos captadores y las partículas polínicas con potencialidad alergénica, aunque este incluía un único año de muestreo.

Si bien dicho estudio analizaba los tipos polínicos *Pinus*, *Populus* y *Quercus*, los datos contenidos en la comparativa no estaban tan sesgados respecto a *Populus* como los de nuestro periodo y *Pinus* no fue igual de abundante en los años 2007-2008, cuando se realizó el muestreo. Este fue un motivo más por el cual se optó por incluirlos en un estudio posterior, junto a *Quercus* para analizar su comportamiento de forma más individualizada. La información publicada con anterioridad se amplió al incluir una serie temporal mayor, además de realizar análisis más detallados respecto a comparativas entre estaciones de muestreo, incluyendo estacionalidad, correlaciones con parámetros meteorológicos entre ambas zonas de estudio y aportación de información en base a los umbrales de riesgo para personas alérgicas a los tipos polínicos estudiados, utilizando para ello los valores establecidos por Galán y colaboradores (2007).

Teniendo en cuenta que algunos de los resultados obtenidos en el desarrollo de esta Tesis Doctoral ya han sido comentados de forma detallada a lo largo de los artículos publicados, es preciso discutir, de una forma más global, aquellas consideraciones que no fueron analizadas anteriormente de manera concreta, como son cuestiones generales de la estacionalidad de esporas fúngicas y granos de polen que involucran tanto a aquellos tipos ya mencionados en las publicaciones como aquellos que no se incluyeron en los correspondientes artículos, la variación intradiaria del espectro polínico, así como un análisis generalizado de las correlaciones entre los parámetros meteorológicos y las partículas fúngicas y polínicas.

ESPORAS FÚNGICAS

Espectro fúngico y variación interanual

Durante el periodo 2014-2015, se registraron un total 265483 esporas/m³, estando el periodo siguiente marcado por un ligero descenso de las concentraciones (234381 esporas/m³). La razón de dicho descenso estuvo condicionado principalmente por la bajada de concentraciones de *Cladosporium* durante el año 2015. Dicha espora, es la más abundante en la atmósfera, registrando entre ambos años un 70% del total medio, tal y como sucede en varios puntos de la geografía española (Díez Herrero et al., 2006; Sánchez Reyes et al., 2009) y a lo largo del resto del mundo (Almaguer et al., 2014; Grinn Gofroñ et al., 2018; Ščevková & Kováč, 2019).

Por otro lado, señalar que *Alternaria* si bien ha sido una de las esporas mayoritarias en el aire de varias ciudades de España (Recio et al., 2012; Sánchez Reyes et al., 2016; Vélez Pereira et al., 2019), distribuyéndose en gran número a lo largo de la zona mediterránea y al norte de Europa (Akgül et al., 2016; Bardei et al., 2017; Grinn Gofroñ et al., 2020), en la atmósfera de Salamanca se situó en la quinta posición en abundancia por detrás de hongos basidiomicetos, en unas concentraciones similares a las reportadas en Portugal (Almeida et al., 2018). Los requerimientos de sustrato que presenta *Alternaria*, además de ser patógeno de cereales y hortícolas, la han situado de manera abundante en las tierras de cultivo, los cuales se hallan localizados al norte de la provincia en las tierras de Palencia (Herrero et al., 1996) y Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2009). A pesar de que rodeando a la ciudad existen zonas de cultivo en la zona de La Armuña, las extensiones no son tan abundantes como las mencionadas, además de que el tamaño de *Alternaria* no le permite llegar lejos, como se indicó en el artículo I (página 105), siendo importante la cercanía y abundancia de cultivos para su mayor presencia en la atmósfera.

Las basidiosporas encontradas en la atmósfera de Salamanca (*Agaricus*, *Coprinus*, *Ganoderma*, etc.), se ven favorecidas por las condiciones meteorológicas de humedad y precipitaciones, condiciones comunes en zonas boscosas de manera generalizada. Aunque no es habitual registrarlas en gran cantidad en ambientes urbanos (Kasprzyk & Worek, 2006), varios autores las localizan entre el contenido mayoritario del aerosol fúngico de la atmósfera de manera similar a las concentraciones encontradas en nuestro estudio (Aira et al., 2003; Morales et al., 2006; Grinn Gofroñ & Strzelczak, 2011; Hasnain et al., 2012).

Algunos tipos de esporas de Ascomycetos como *Chaetomium*, *Sporormiella*, *Xylariaceae*, etc., están asociadas a bajos niveles de altura, siendo descomponedores de restos o coprófilos por lo que, aunque pueden encontrarse con relativa facilidad en las muestras durante la captación de partículas, suelen hacerlo en niveles muy bajos (Gonianakis et al., 2005). *Torula*, por su parte, a pesar de que suele aparecer de manera escasa, es considerado como un importante aeroalérgeno (Kasprzyk, 2008; Ianovici, 2016).

Los resultados obtenidos tras el estudio del aerosol fúngico muestran similitudes con otros trabajos independientemente de la zona de muestreo como, por ejemplo, en Portugal (Oliveira et al., 2009a), donde encontraron 50 tipos de esporas diferentes, México (Martínez Blanco et al., 2016), los cuales hallaron una concentración total similar a nuestro estudio y 56 tipos de esporas o Cuba (Almaguer et al., 2015), donde hallaron un total de 34 tipos de esporas pero durante un único año de muestreo. Esto nos ayuda a comprender cuales son las esporas más abundantes y las mejor caracterizadas en la literatura, al ser muy similares los resultados independientemente de la zona del mundo en que se realicen los muestreos, lo que también pone de manifiesto la gran ubicuidad de los hongos (Bush, 1989).

Para analizar el comportamiento interanual de las esporas fúngicas únicamente se consideraron aquellas esporas situadas en las diez primeras posiciones de mayor a menor abundancia, cumpliendo además con la condición de haber superado el umbral del 1% de representación total, de manera que, en el conjunto de los dos años, llegaron a constituir cerca del 97% del espectro esporal de la atmósfera de Salamanca (tabla 4.1).

Tabla 4. 1. Variación interanual de los tipos más abundantes de esporas fúngicas presentes en la atmósfera de Salamanca.

| | 2014 | 2015 | 2015 | 2016 |
|--------------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| | Índice esporal | Porcentaje total | Índice esporal | Porcentaje total |
| | anual* | (%) | anual* | (%) |
| <i>Agaricus</i> | 7546 | 2,8 | 10816 | 4,6 |
| <i>Alternaria</i> | 6747 | 2,5 | 5610 | 2,3 |
| <i>Aspergillus/Penicillium</i> | 28874 | 10,8 | 14757 | 6,3 |
| <i>Cladosporium</i> | 185275 | 69,8 | 172004 | 73,3 |
| <i>Coprinus</i> | 7182 | 2,7 | 3880 | 1,6 |
| <i>Epicoccum</i> | 2842 | 1,1 | 2518 | 1,1 |
| <i>Ganoderma</i> | 3178 | 1,2 | 4027 | 1,7 |
| <i>Leptosphaeria</i> | 4397 | 1,6 | 3295 | 1,4 |
| <i>Periconia</i> | 4500 | 1,7 | 6512 | 2,7 |
| <i>Pleospora</i> | 4234 | 1,6 | 2853 | 1,2 |
| Total | 265483 | 100 | 234381 | 100 |

*esporas/m³

El primer periodo de muestreo obtuvo una mayor concentración de esporas (265483) frente al periodo 2015-2016 (234381). Asimismo, durante la segunda anualidad se produjo un descenso de los tipos esporales más abundantes como *Aspergillus/Penicillium* (14757), *Cladosporium* (172004), *Coprinus* (3880) y *Pleospora* (2853), mientras que otros tipos como *Agaricus* (10816) y *Periconia* (6512) registraron un aumento bastante notable, aumentando ambos sus

concentraciones durante noviembre de 2015, como se verá en el apartado de variación estacional. *Alternaria* por su parte mostró pocas diferencias entre ambas anualidades.

El descenso en la concentración de esporas de *Cladosporium* pudo estar motivada por el aumento de las temperaturas hasta los 33,1 °C de temperatura máxima que se registraron en julio, (tabla 3.1, página 80), lo que pudo ocasionar la muerte de parte de los hongos productores, como varios autores han puesto de manifiesto (Eduard, 2009; Ianovici, 2016), generando una disminución de la esporulación.

Hemos de destacar que tanto *Agaricus* como *Periconia* tuvieron sus máximos de concentraciones durante noviembre de 2015. En el primer caso pudo deberse a un aumento en la disponibilidad del substrato como otros autores han comentado (Sabariego et al., 2007) que, junto con las lluvias acaecidas en octubre, pudieron favorecer el desarrollo de los cuerpos fructíferos. *Periconia* por su parte, mostró un comportamiento similar al reportado por otros autores, ya que sus requerimientos de temperatura no le permiten desarrollarse por encima de 10°C (Pérez Gorjón et al., 2003; Sánchez Reyes et al., 2007) y durante noviembre de 2015, la temperatura media fue inferior a la registrada en 2014, en ambos casos por debajo de 10°C (ver resultados, página 81).

Coprinus alcanzó sus máximos en otoño de 2014, momento en el que se registraron unas abundantes lluvias en el mes de noviembre, provocando un aumento en la humedad relativa que, junto con el aporte de agua, proporcionaron las condiciones necesarias para el desarrollo de este basidiomiceto (Aira et al., 2003; Aira et al., 2009). *Epicoccum* por su parte apenas varió respecto a ambos años manteniéndose en unos valores y distribución similares (Rizzi Longo et al., 2009).

El tipo *Aspergillus/Penicillium* tuvo una disminución de sus valores cercana a la mitad durante el segundo periodo de estudio. Probablemente las obras de construcción del nuevo hospital, ya presentes en aquel entonces, tuvieron un papel importante a la hora de la liberación de estas esporas como otros autores han podido comprobar en investigaciones similares respecto a obras y demoliciones de edificios (Loeffert et al., 2018).

Ganoderma y *Leptosphaeria* invirtieron sus proporciones en ambas anualidades, probablemente por lo diferente de sus condiciones necesarias para el desarrollo, estando *Leptosphaeria* muy vinculada a las precipitaciones (con sus picos situados en 2014 durante abril y noviembre y en 2015 durante junio que, como ya hemos mencionado, contaron con abundantes lluvias). *Ganoderma* por su parte, no tiene una afinidad tan clara por las precipitaciones como han reportado otros autores en ciudades de Polonia (Stępalska & Wołek, 2005; Grinn Gofroń, 2008), Irlanda (O'Connor et al., 2014) o cercanas a Salamanca (Sánchez Reyes et al., 2016), contrariamente a los resultados de otras investigaciones que la sitúan en estaciones lluviosas (Almaguer et al., 2018).

Variación estacional

La distribución estacional del contenido esporal, quedó relegada mayoritariamente al verano y el otoño, ya que entre ambas estaciones el aporte total de esporas registrado fue del 74,4% en 2014 y el 77,5% para 2015. El verano suele ser la época de mayor aporte esporal a la atmósfera, seguida de cerca por el otoño, similar a lo observado por otros autores (Ščevková et al., 2016; Liang et al., 2017) (Tabla 4.2). Para los datos del mes de febrero solamente se consideraron los años 2015 y 2016, para mayor facilidad de comprensión.

Tabla 4. 2. Distribución estacional de las esporas capturadas durante el periodo de estudio.

| Primavera | | | | |
|------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|
| | MARZO | ABRIL | MAYO | Total |
| 2014-2015 | 6101 (2,3%) | 15912 (6%) | 28018 (10,7%) | 50033 (19%) |
| 2015-2016 | 4702 (2,1%) | 12864 (5,6%) | 18788 (8,1%) | 37354 (16%) |

| Verano | | | | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | JUNIO | JULIO | AGOSTO | Total |
| 2014-2015 | 27951 (10,6%) | 70829 (27%) | 25304 (9,6%) | 124084 (47,2%) |
| 2015-2016 | 42456 (18,2%) | 26031 (11,1%) | 30722 (13,2%) | 99210 (42,6%) |

| Otoño | | | | |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | Total |
| 2014-2015 | 37061 (14,1%) | 18951 (7,2%) | 15382 (5,8%) | 71394 (27,2%) |
| 2015-2016 | 24962 (10,7%) | 29027 (12,4%) | 27293 (11,7%) | 81282 (34,9%) |

| Invierno | | | | |
|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | DICIEMBRE | ENERO | FEBRERO | Total |
| 2014-2015 | 9499 (3,6%) | 4296 (1,6%) | 3208 (1,2%) | 17003 (6,5%) |
| 2015-2016 | 8641 (3,7%) | 4483 (1,9%) | 1837 (0,8%) | 14960 (6,4%) |

De acuerdo a los valores obtenidos pudimos comprobar que fue entre mayo, junio y julio, cuando se produjeron las máximas aportaciones de esporas a la atmósfera. En el primer periodo de estudio, se registraron 124084 esporas entre los meses de junio-agosto, suponiendo un porcentaje del 47,2%, mientras que el año siguiente obtuvo para el mismo periodo un valor ligeramente inferior con un 42,6% (99210 esporas). Durante 2014-2015, julio fue el mes que mayor porcentaje de representación obtuvo (27%), seguido de septiembre (14,1%) y mayo (10,7%), debido a los grandes aportes en estos meses tanto de *Cladosporium* como de *Aspergillus/Penicillium*. En 2015-2016, fue junio el mes con mayor concentración de esporas (18,2%), seguido de agosto (13,2%) y octubre (12,4%).

Este hecho ha sido reportado desde hace décadas a lo largo del mundo (Herrero et al., 1996; Aira et al., 2008; Sánchez Reyes et al., 2009; Oliveira et al., 2010; Kasprzyk et al., 2013; Ščevková et al., 2015; Ianovici 2016; Papadakis et al., 2016; Pace et al., 2019), coincidiendo todos ellos en que el incremento de temperaturas favorece el aporte de las esporas a la atmósfera. En otros países con condiciones climáticas diferentes, los meses otoñales suponen la estación principal de esporas como sucede en la ciudad de Pakistán (Hasnain et al., 2012) o algunas zonas del Caribe (Rivera Mariani et al., 2020).

A pesar de que la estacionalidad de las esporas quedó discutida en el correspondiente artículo (Artículo I, páginas 95-110), junto con la creación del calendario esporal, se realiza a continuación una discusión general de las diez esporas más abundantes de la atmósfera de Salamanca. *Bovista* y *Myxomycete*, a pesar de estar recogidos en el calendario esporal, sus porcentajes estuvieron ligeramente por debajo del 1%.

Como puede apreciarse en la figura 4.3, las esporas tienen un patrón prolongado a lo largo del año, ocupando casi la totalidad de los meses, debido en gran medida a la ubicuidad que los hongos presentan y la gran variedad de sustratos y condiciones en los que pueden desarrollarse (Cepeda et al., 2019). Debido a que *Cladosporium* es, con diferencia, la espora más abundante en la atmósfera, tanto en nuestro estudio como en otras investigaciones a lo largo del mundo (Sidel et al., 2017; Olsen et al., 2019), las gráficas de los totales tienden a adoptar la misma curva que dicha espora en concreto, como se ha visto en otras investigaciones similares (Sánchez Reyes, 2011; Sánchez Reyes et al., 2016). Como *Cladosporium* pertenece al llamado grupo de las esporas secas (Kasprzyk et al., 2016; Sadyś et al., 2016) es, junto con *Alternaria*, una espora muy vinculada al verano. Por otro lado, las denominadas esporas húmedas como *Agaricus*, *Coprinus* y *Pleospora* (Oliveira et al., 2009b), son las causantes del alargamiento en la estacionalidad hasta prácticamente noviembre, al encontrarse *Agaricus* y *Coprinus* como dos de las esporas más abundantes en la atmósfera, llegando a sobrepasar los valores de *Alternaria* (considerada en otros estudios como una de las más abundantes en el aire).

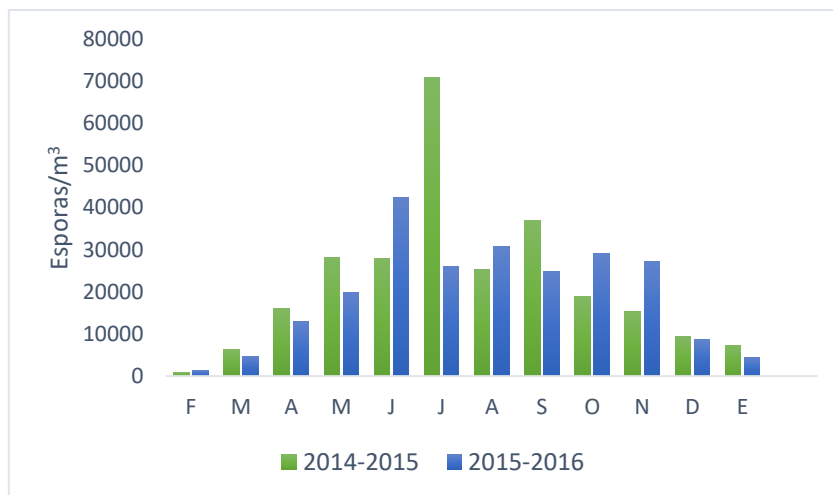


Figura 4. 3. Distribución de las concentraciones totales mensuales de esporas fúngicas.

Las mayores aportaciones de esporas vinieron determinadas por *Cladosporium* la cual tiene sus máximos de distribución entre junio y julio. Debido a su gran representación en la atmósfera, se detalla a continuación la representación anual de *Cladosporium* en solitario (fig. 4.4).

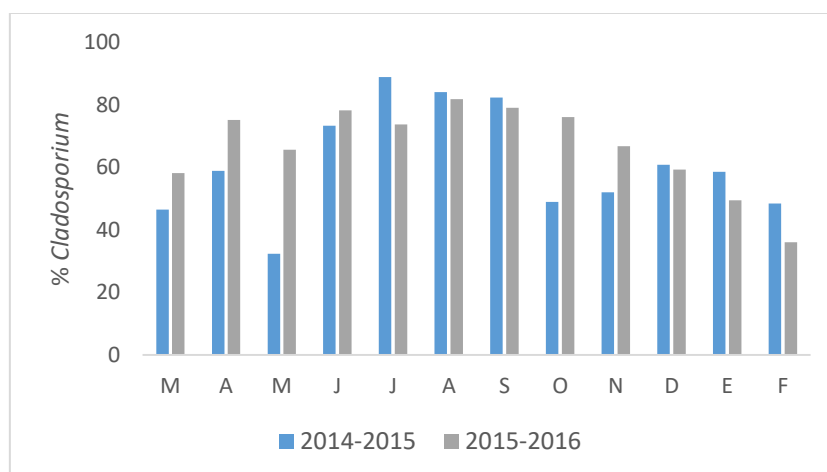


Figura 4. 4. Porcentajes mensuales de representación de *Cladosporium*.

En 2014, del total de esporas recogidas durante julio, el 88% correspondió a *Cladosporium*, mientras que al año siguiente se registró un porcentaje inferior en este mes (73%). La cifra volvió a aumentar durante agosto de 2015 hasta situarse en un 81%, momento en el que se estableció la concentración mensual máxima de esta espora.

Aspergillus/Penicillium (nombrado como *Asp/Pen*), (fig. 4.5), alcanzó sus mayores concentraciones mensuales en mayo con un 79% respecto al total mensual. *Agaricus*, *Coprinus*, *Leptosphaeria*, *Periconia* y *Pleospora*, tuvieron representación durante los meses de marzo y

abril, siendo especialmente abundante en el caso de *Pleospora* en abril de 2014. Este hecho pudo venir dado por las lluvias primaverales, registradas de forma continuada entre marzo y mayo, produciéndose un aumento de la humedad relativa favoreciendo así la abundancia de estos tipos esporales durante la primavera (Sánchez Reyes et al., 2016; Dey et al., 2019).

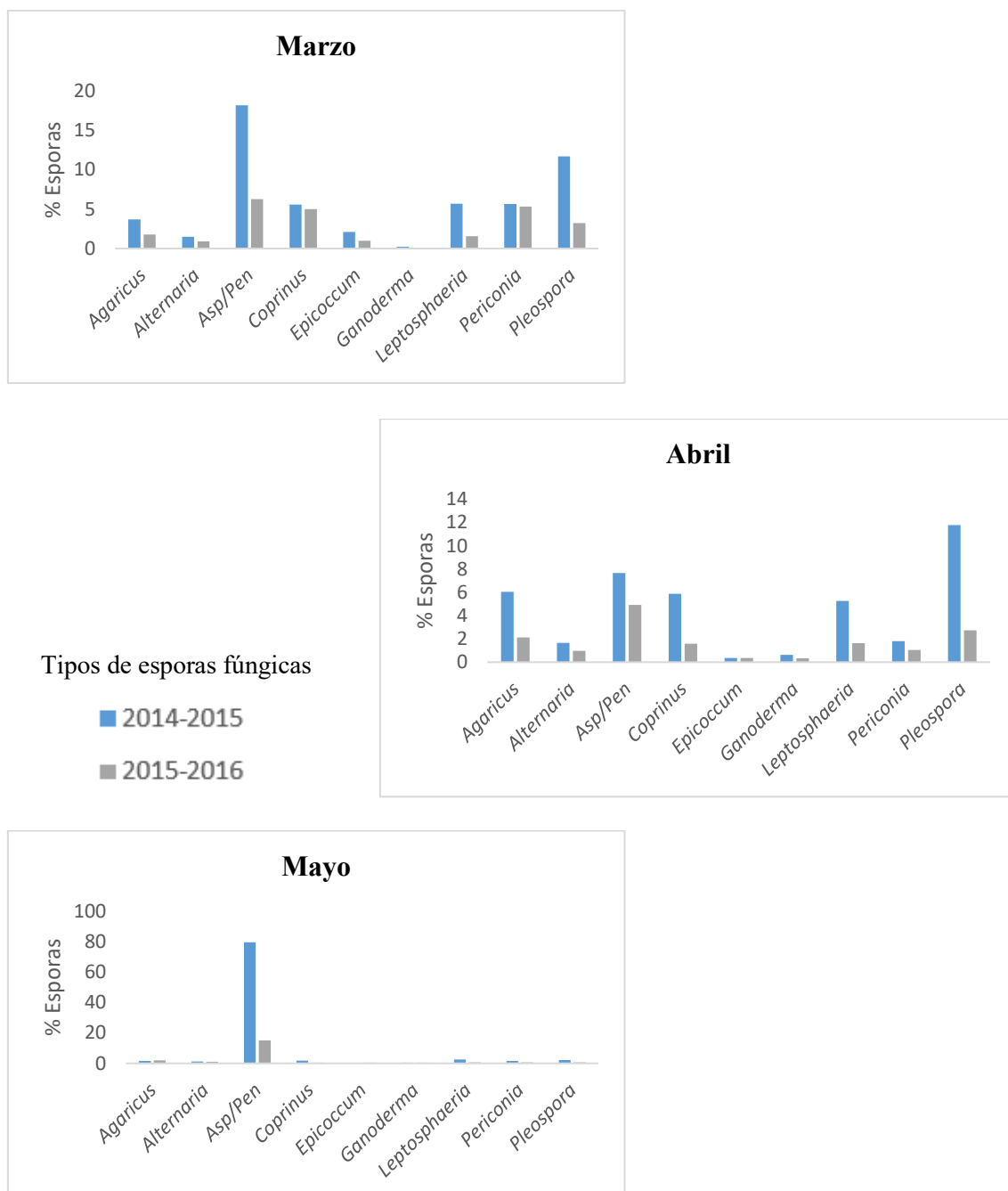


Figura 4. 5. Porcentajes mensuales de representación de las esporas recogidas durante la primavera.

Durante la estación estival (fig. 4.6), se sucedió el predominio de *Cladosporium* junto con *Alternaria*, si bien esta segunda no fue una de las más abundantes de la atmósfera de Salamanca, situándose tras *Aspergillus/Penicillium*, *Agaricus* y *Coprinus*, como se mencionó anteriormente.

Cladosporium obtuvo un porcentaje entre el 73% de mínima durante junio y su máximo estuvo cercano al 90% en julio de 2014, con agosto ligeramente inferior respecto al total mensual (84%).

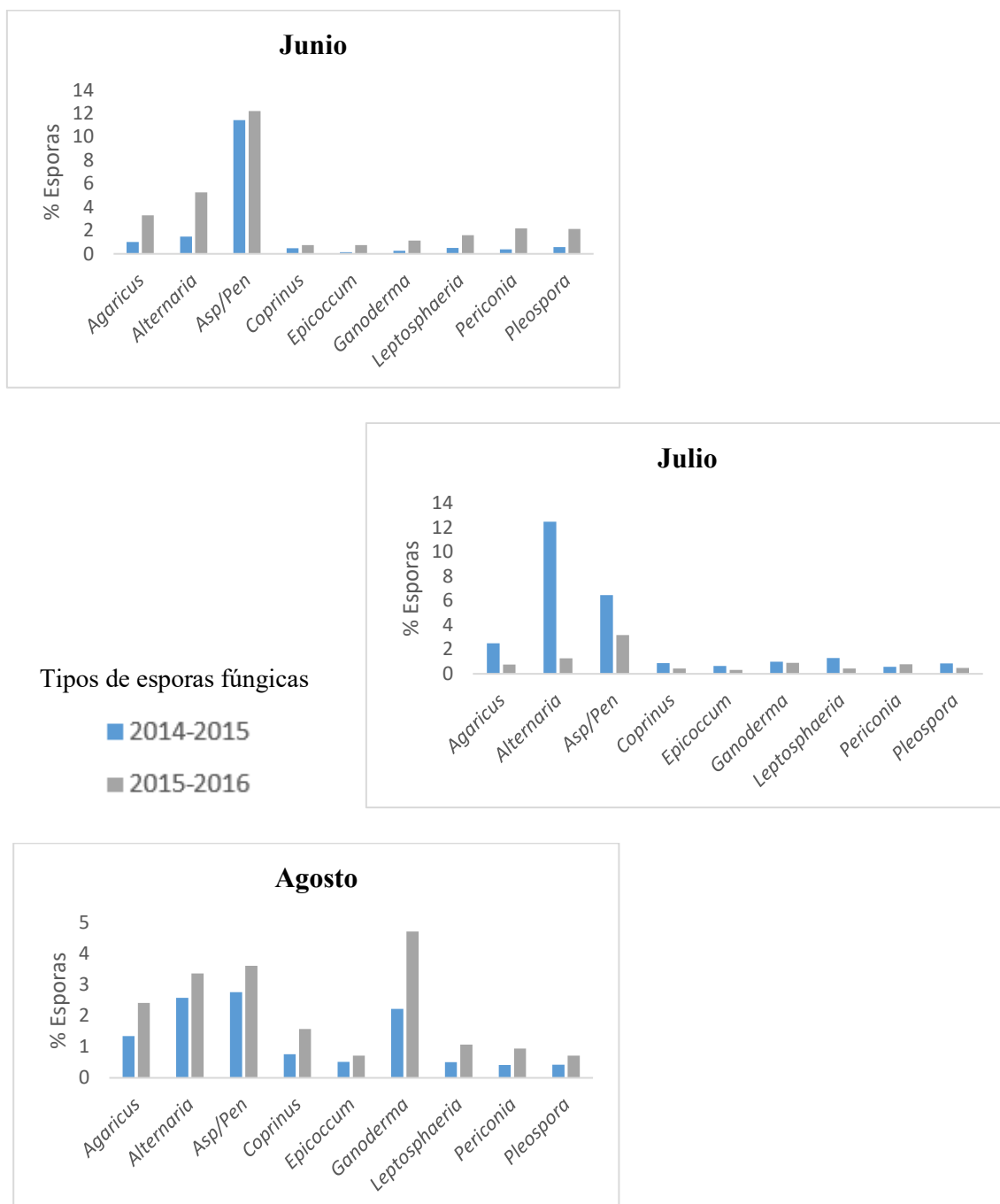


Figura 4. 6. Porcentajes mensuales de representación de las esporas recogidas durante el verano.

Se ha observado una presencia de *Agaricus* durante 2015, del 2,4%. A pesar de que la representación de los basidiomicetos suele estar relegada al periodo otoñal (Hernández Trejo et al., 2013), la humedad presente en parques y zonas verdes, junto con una temperatura adecuada,

ocasiona la aparición de estos hongos en las ciudades, pudiendo encontrarse desde junio hasta agosto cuerpos fructíferos. *Aspergillus/Penicillium* tuvo una representación en torno al 12%, elevada durante junio de ambos años, motivado por el aumento de humedad relativa debido a las lluvias de mayo en 2014, continuando la gran producción de esta espora que se sucedió durante dicho mes, y en junio de 2015, con las abundantes lluvias registradas.

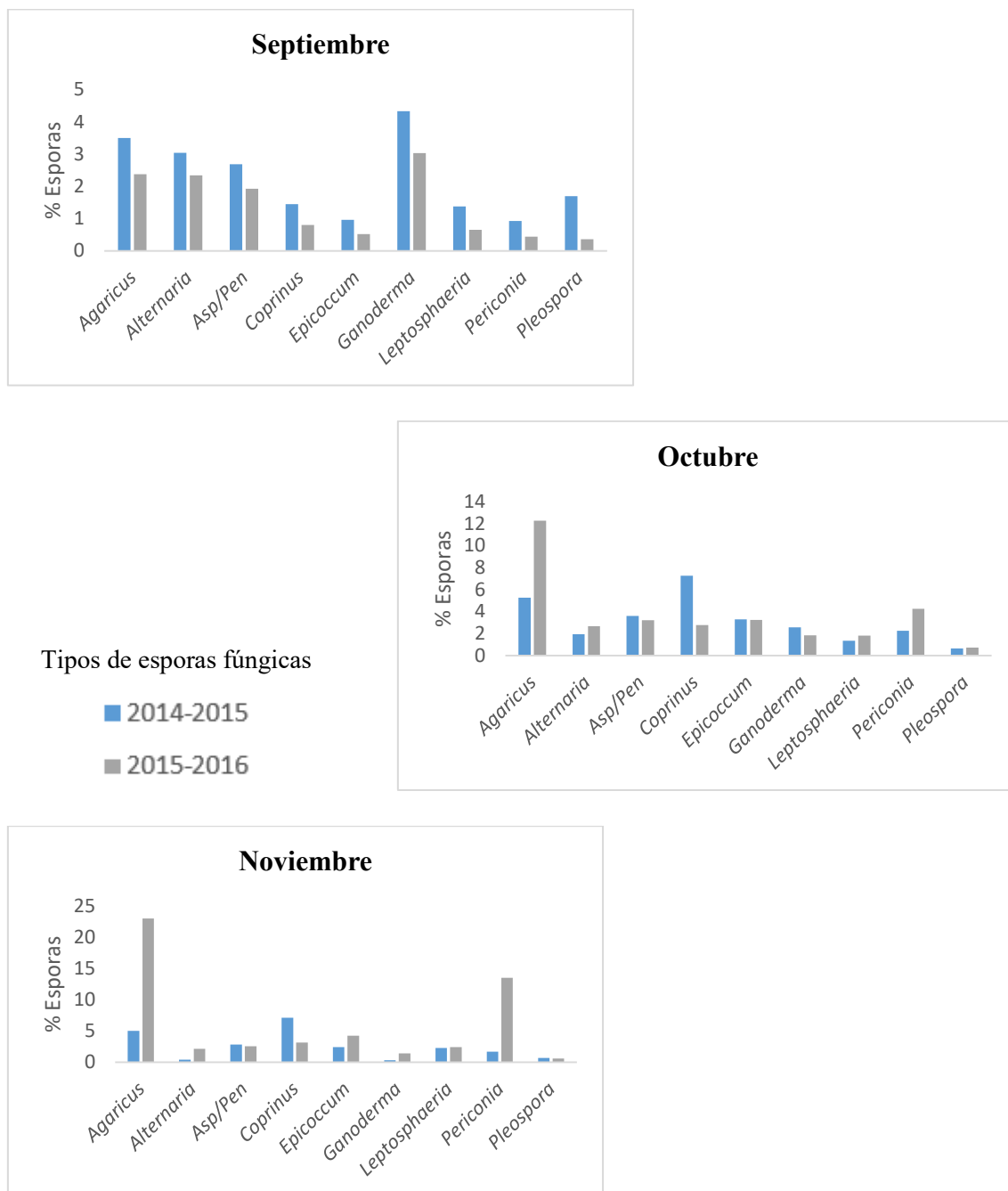


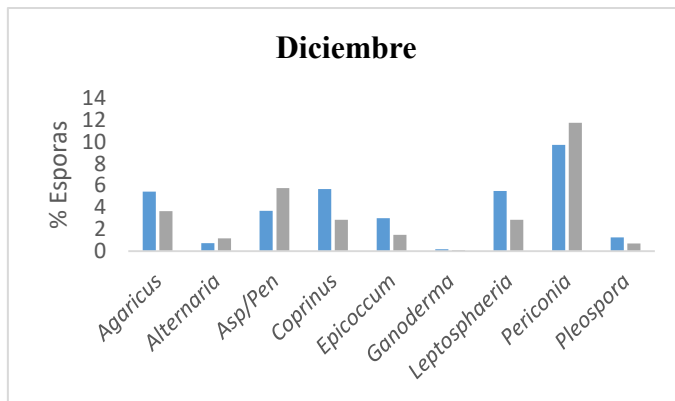
Figura 4. 7. Porcentajes mensuales de representación de las esporas recogidas durante el otoño.

La estación otoñal, estuvo marcada por una variedad de esporas que predominaron en función del mes en estudio. Por un lado *Alternaria*, registró una concentración en torno al 2,5-3% en

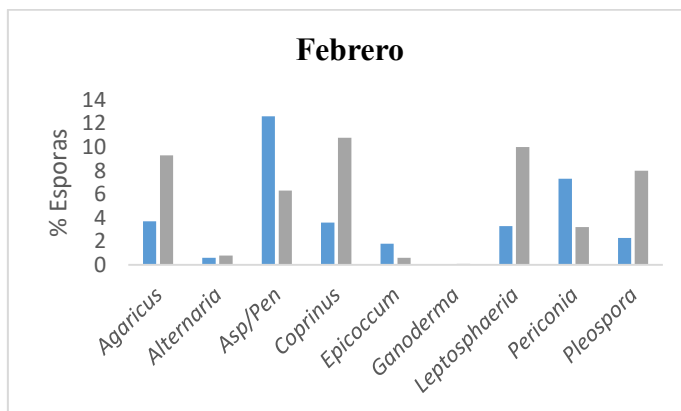
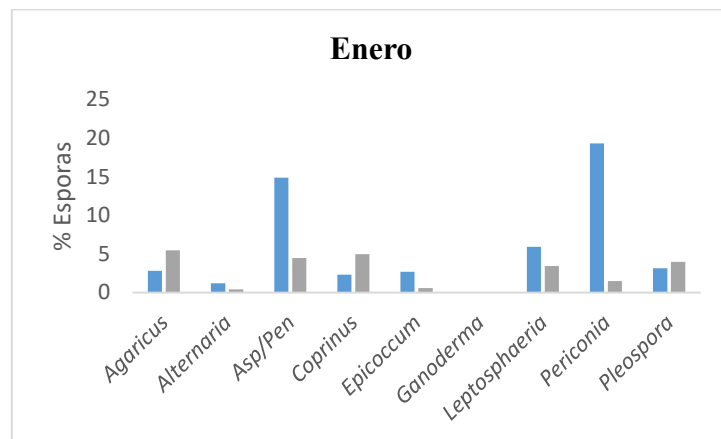
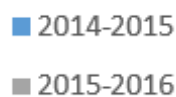
septiembre (fig. 4.7), disminuyendo en los siguientes meses, debido al descenso de temperaturas necesarias para su desarrollo (Fernández et al., 1998). *Ganoderma* registró la máxima representatividad con un 4,3% en septiembre de 2014, disminuyendo hasta el 3% al año siguiente, casi desapareciendo del espectro atmosférico en los meses siguientes como resultado de la disminución de su actividad descomponedora en zonas boscosas (Sánchez Reyes et al., 2007; Sadyś et al., 2014). *Cladosporium* registró un descenso brusco durante octubre de 2014, incrementándose hasta un 60% en noviembre, hecho que han constatado otras investigaciones (Sánchez Reyes, 2011). *Agaricus* experimentó un incremento paulatino en 2015, desde un 2,3% hasta alcanzar el 23,3% durante noviembre, época en la que los basidiomicetos suelen alcanzar su máxima representación (Morales et al., 2006). Respecto a *Periconia*, debido a su característica distribución con temperaturas frías (Pérez Gorjón et al., 2003), obtuvo un elevado porcentaje de representación junto con *Agaricus*, en noviembre.

En la estación invernal *Periconia* mostró ser predominante durante enero de 2014 y diciembre de 2015 (fig. 4.8), lo cual refuerza el carácter invernal de esta spora (Sánchez Reyes et al., 2012). *Cladosporium* tuvo un descenso a lo largo de estos tres meses llegando al 36% de concentración en febrero de 2016, probablemente debido a la finalización del estudio. *Agaricus* y *Coprinus* tuvieron sus porcentajes alrededor del 5%, durante diciembre de 2014, siendo más abundantes en febrero de 2016, motivado posiblemente por las abundantes lluvias registradas en enero (ver resultados, página 82), lo cual llevo a un incremento en la humedad relativa necesaria para el desarrollo de sus carpóforos (Aira et al., 2003; Aira et al., 2009). De igual manera *Leptosphaeria* mostró un incremento en sus concentraciones en el mismo mes de febrero de 2016 mientras que *Aspergillus/Penicillium* mantuvieron concentraciones entre 12-14% en los dos meses del año 2016.

Si bien el periodo invernal ha sido caracterizado por varios autores como el de menor representatividad esporal, debido a la disminución de la actividad de los hongos (Ataygul et al., 2007; Sabariego et al., 2007; Sousa et al., 2016), en nuestro caso se produce un porcentaje de representación de la estación del 6,5% (Tabla 4.2), motivado por la presencia de los basidiomicetos y *Aspergillus/Penicillium* gracias a las precipitaciones recogidas en enero, lo cual estuvo acompañado de un aumento en las temperaturas máximas durante diciembre y enero de 2015-2016 por encima de 10°C, más propias de periodos otoñales (ver tabla 3.2, página 81).



Tipos de esporas fúngicas



* Años 2015 y 2016

Figura 4. 8. Porcentajes mensuales de representación de las esporas recogidas durante el invierno.

Variación intradiaria

Si bien los resultados obtenidos del análisis intradiario de las esporas más abundantes de la atmósfera de Salamanca, fue discutido en el correspondiente artículo (Artículo I, páginas 95-110), a continuación se añade la información referida a aquellos tipos que, superando un porcentaje de representación total del 1%, no entraron en el análisis debido al criterio de selección de aquellas esporas que en conjunto superaron el 90% del contenido total de ambos años. Las esporas

incluidas en este apartado son *Epicoccum*, *Ganoderma* y *Pleospora*, junto con consideraciones generales del resto de esporas ya analizadas.

Como resultado del análisis de la variación intradiaria de las citadas esporas, se establecieron tres franjas horarias en base a la suma de las concentraciones diarias (fig. 4.9), de forma análoga a otras investigaciones anteriores (Rodríguez de la Cruz, 2009; Sánchez Reyes, 2011). De esta manera podemos averiguar el momento de máxima presencia a tres niveles (01-08h, 09-16h y 17-24h). Es importante definir el hecho de que para algunas esporas a pesar de considerarse dentro de una determinada franja horaria, como puede ser el caso de *Coprinus*, el cual a pesar de estar distribuido de forma más o menos homogénea a lo largo del día, se incluye en la franja de 01 a 08 horas.

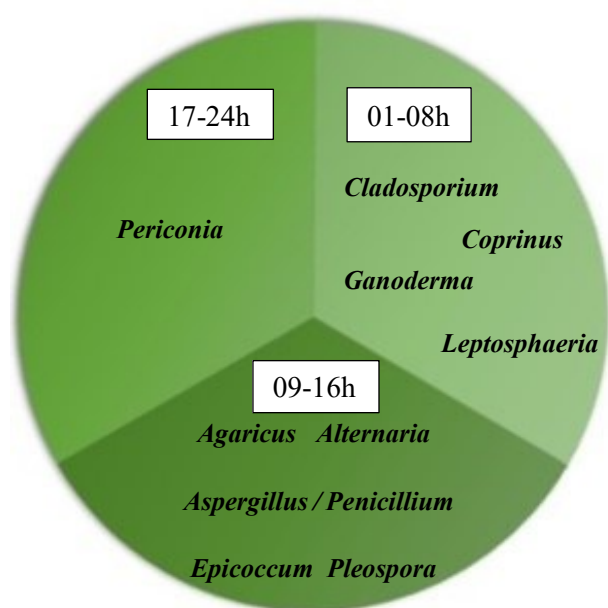


Figura 4. 9. Distribución horaria de los tipos de esporas más abundantes en la atmósfera de Salamanca durante el periodo de estudio 2014-2016.

En la franja de las 01-08h, encontramos a *Cladosporium*, *Coprinus*, *Ganoderma* y *Leptosphaeria*. En otros trabajos previos *Cladosporium* también ha demostrado tener una distribución horaria más concentrada en las primeras horas del día, comenzando a incrementar los valores a partir de las 09 horas (Rich & Waggoner, 1962). Stępałska y Wołek (2009) han apuntado, sin embargo a que los ciclos intradiarios de algunos tipos de esporas como *Alternaria* y *Cladosporium* pueden ser diferentes en función de que el tiempo sea seco o lluvioso. Bardei et al. (2017) también registraron aumentos en las concentraciones durante la noche con días lluviosos y Ho et al. (2005) reportaron aumentos de las concentraciones entre las 04h y las 08h al igual que Hasnain y colaboradores (2012). Rocha Estrada et al. (2013), también manifiestan encontrar una

concentración elevada de esporas en torno a las 02 horas. De igual manera en nuestros resultados se aprecia ese incremento entre las 09h y las 14h que mencionan otros estudios (Almaguer et al., 2014; Rivera Mariani et al., 2020). Es probable que los diferentes patrones localizados alrededor del mundo estén relacionados con diferencias climáticas, biogeográficas y tipos de substratos, variando incluso los patrones intradiarios de un año a otro analizando las mismas zonas (Oliveira et al., 2009a).

Coprinus y *Ganoderma*, al ser claros ejemplos de esporas húmedas, su distribución se realiza principalmente con niveles de humedad relativa elevada y/o presencia de lluvias. Estos resultados han sido reportados en ciudades como Bratislava (Ščevková et al., 2019), Cuba (Almaguer et al., 2018), Worcester (O'Connor et al., 2014) y en varios puntos de España como Galicia (Aira et al., 2009) o Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2007). Respecto a *Ganoderma*, es necesario señalar en este punto la similitud que adquieren las gráficas en los artículos mencionados, independientemente de la ciudad o el país de que se trate con las obtenidas en Salamanca alcanzando sus máximos entre las 24 a las 06 horas momento en el que comienza su descenso, manteniéndose en valores mínimos durante el resto del día, hasta el inicio de la noche (ver figura 3.10, página 119).

En el caso de *Leptosphaeria*, al estar vinculada a condiciones de humedad y presencia de precipitaciones (Sadyś et al., 2018), también se encuentra en la franja donde la humedad relativa suele ser mayor, apareciendo también en concentraciones elevadas en otras franjas horarias. Además la distribución obtenida en nuestro estudio coincide con aquella realizada en otras zonas como Cuba (Almaguer et al., 2020) o Eslovaquia (Ščevková et al., 2019).

La franja correspondiente a las 09-16 horas tiene como integrantes a *Agaricus*, *Alternaria*, *Aspergillus/Penicillium*, *Epicoccum* y *Pleospora*. A pesar de que *Agaricus* se trata de una basidiospora a igual que *Coprinus*, su máxima representación se situó en las horas centrales del día, aunque se apreciase un incremento en horas nocturnas. En el estudio de Hasnain y colaboradores (2012), se observó una subida en las concentraciones en torno a las 14 horas similar a Salamanca, pero con un valor muy inferior al obtenido durante las horas nocturnas en dicho estudio. *Alternaria* corresponde con los resultados expuestos en otros trabajos publicados (Munuera Giner et al., 1998; Maya Manzano et al., 2016; Bardei et al., 2017), estando el pico situado alrededor de las 14h coincidiendo con el momento de liberación pasiva de *Alternaria* a la atmósfera (Kramer & Eversmeyer, 1984). En otras ciudades como Polonia se ha descrito un patrón de distribución nocturna (Stępańska & Wołek, 2009). *Aspergillus/Penicillium* ha sido reportado por otros autores con un patrón de distribución similar (Docampo et al., 2010), mientras que *Epicoccum* no aparece en la bibliografía de forma tan frecuente, menos aún en estudios intradiarios. No obstante al tratarse de una espora seca, y tener su distribución comprendida a

finales del verano inicios de otoño, esta espora se establece predominantemente en aquellos momentos de menor humedad relativa y temperaturas más cálidas. En lo relativo a *Pleospora*, su distribución puede verse afectada debido a su gran afinidad con las lluvias, situándose esta otras franjas horarias, como sucedió en Valladolid (Sánchez Reyes, 2011).

En la franja de tarde (17-24h), se situó únicamente *Periconia*. Los resultados coinciden con otros realizados en zonas cercanas como Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2016), estableciéndose la misma franja horaria para esta espora. No obstante y como indicábamos al inicio del apartado por su distribución otoñal o características invernales (Sánchez Reyes et al., 2012), las horas de sus máximas concentraciones se corresponden con horas nocturnas.

En este apartado resulta interesante señalar que los resultados obtenidos considerando todos los días del Periodo Principal de Esporulación de *Alternaria* (Artículo II, página 144-166), no supusieron apenas diferencias respecto al modelo que contempla los días sin registro de lluvias. Tanto para el primer artículo publicado como para *Epicoccum*, *Ganoderma* y *Pleospora*, se recurrió al modelo que considera únicamente los días que no registran precipitaciones, ya que así no se introduce sesgo debido al efecto barrido ocasionado por las precipitaciones y por otro lado, este modelo es el más extendido en las publicaciones actuales (Scevková et al., 2015; Bardei et al., 2017, Almaguer et al., 2018), lo que nos permitía disponer de un mayor número de artículos con los que comparar y discutir nuestros resultados.

Correlaciones con parámetros meteorológicos

A pesar de que la información obtenida de los análisis de correlación entre los datos de esporas fúngicas y los parámetros meteorológicos fueron discutidos en el correspondiente artículo (Artículo I, página 95-110), se procede a continuación a complementar dicho apartado con la información proveniente de aquellos tipos que no fueron incluidos en la publicación (*Epicoccum*, *Ganoderma* y *Pleospora*), junto con una visión general del resto de esporas que superaron el 1% de representación anual.

- Temperatura e insolación

Varios autores han demostrado desde hace tiempo, que las temperaturas condicionan de manera bastante relevante las concentraciones de las esporas en la atmósfera, dado que los incrementos de estas partículas en el aire suelen estar relacionados con un incremento de temperaturas (Hjelmroos et al., 1993; Herrero et al., 1996; Rizzi Longo et al., 2009; Grinn Gofroñ et al., 2018). Como se pudo apreciar para el conjunto total de esporas, su patrón de comportamiento se acopló de forma casi idéntica al obtenido para *Cladosporium* ya que esta espora supuso un porcentaje de representación del 72%. Es notable el hecho de que tanto *Alternaria* como *Cladosporium*, si bien

ambas esporas se encuentran presentes en la atmósfera a lo largo de todo el año, sus concentraciones máximas se concentran en torno al verano. Por un lado *Alternaria* está muy ligada a los procesos de cosechado como se ha explicado anteriormente y *Cladosporium* necesita de una mezcla de precipitaciones, temperatura y suficiente medio para su desarrollo (Kurkela, 1997). Varios investigadores han determinado los rangos de temperatura en los que estas dos esporas tienen sus óptimos de desarrollo estableciéndose entre 13-21°C para *Cladosporium* (Sabariego et al., 2000) y de 22-28°C para *Alternaria* (Fernández et al., 1998). Asimismo, se ha observado que exceder el límite de temperatura óptimo para su crecimiento puede eliminar a los hongos, mientras que temperaturas por debajo de dicho óptimo para su crecimiento son menos letales (Eduard, 2009; Ianovici, 2016). Esto explicaría la gran abundancia de *Cladosporium* a lo largo del año, aun con valores inferiores a su temperatura mínima de desarrollo (octubre y noviembre), como puede observarse en el periodo 2015-2016 (figura 4.10).

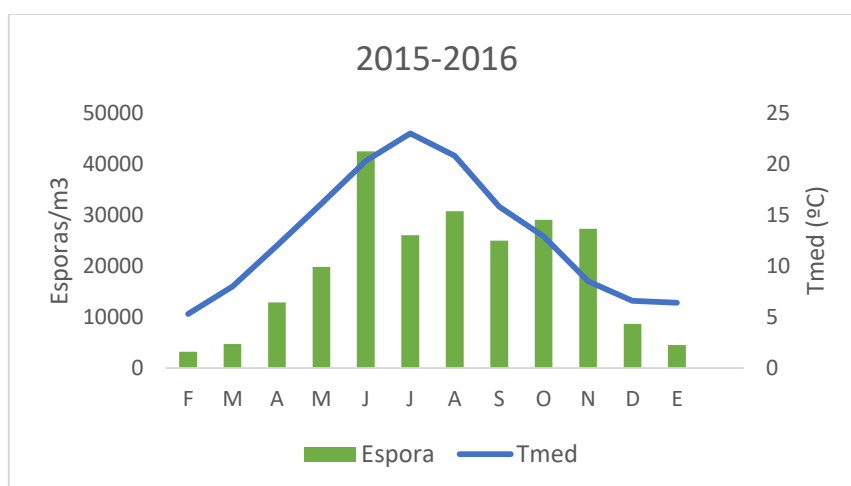


Figura 4. 10. Relación entre las esporas y la temperatura media del periodo 2015-2016.

Respecto al resto de esporas fúngicas, como se aprecia en la tabla 4.3, *Agaricus*, *Leptosphaeria*, *Periconia* y *Pleospora*, obtuvieron correlaciones negativas con la temperatura o la insolación. Este hecho puede estar motivado por tratarse de esporas en su mayoría otoñales o de distribución nocturna cuando las temperaturas son más suaves y las horas de luz menores. Al incrementarse las concentraciones de estas esporas a la par que comienza el otoño y disminuir las temperaturas, se produce esta correlación de signo negativo. De igual modo sucede en el caso de *Agaricus* y *Coprinus*, que mayoritariamente se distribuyen durante el otoño, cuando las concentraciones de elevada humedad en el substrato se cumplen para el desarrollo del carpóforo (Aira et al., 2003). A esta condición hay que sumar el que dentro de la ciudad abundan las zonas verdes, parques y jardines en los que este tipo de hongos puede crecer en otras épocas del año, incluido en verano, siempre que se den las condiciones adecuadas de temperatura y humedad (Bush, 1989). El

mantenimiento y riego de dichas zonas pueden llevar al crecimiento de *Agaricus* incluso entre junio-julio, mientras que *Coprinus* se trata de una especie que puede encontrarse a lo largo de todo el año, especialmente en primavera (Elena Vila, 2007), de ahí su coeficiente de correlación positivo con las horas de luz.

Tabla 4. 3. Signo de los coeficientes de correlación obtenidos entre los tipos de esporas analizadas y los parámetros meteorológicos.

| | Temp | Insol | Prec | Hrel | Vel vrient | Frec calm | NE | SE | SO | NO |
|----------------------|------|-------|------|------|------------|-----------|-----|----|-----|----|
| <i>Agaricus</i> | | - | + | + | - | (+) | | | (+) | |
| <i>Alternaria</i> | + | + | - | - | - | | + | + | - | |
| <i>Asp/Pen</i> | + | | - | - | + | - | | - | | + |
| <i>Cladosporium</i> | + | | - | - | - | | + | + | - | |
| <i>Coprinus</i> | - | + | | + | - | + | - | | | + |
| <i>Epicoccum</i> | + | + | - | - | - | + | + | + | - | |
| <i>Ganoderma</i> | + | + | - | - | - | + | | + | | + |
| <i>Leptosphaeria</i> | - | | + | + | | | (-) | | + | |
| <i>Periconia</i> | - | | - | | - | + | + | | | |
| <i>Pleospora</i> | | - | + | + | + | | - | - | + | |

Temp (temperatura máxima, mínima y media), **Insol** (insolación), **Prec** (precipitación), **Hrel** (humedad relativa), **Vel vrient** (Velocidad del viento), **Frec calm** (frecuencia de calmas), **NE, SE, SO, NO** (vientos procedentes del primer, segundo, tercer y cuarto cuadrante). Entre paréntesis, correlaciones con valores bajos (inferiores a 0,1).

Por su parte *Pleospora*, está asociada a fenómenos de lluvia, coincidiendo con una disminución en el número de horas de luz disponible y estando así correlacionada negativamente con este parámetro (Sánchez Reyes et al., 2016). Al producirse cielos nublados en los días de precipitaciones, se genera una menor insolación, lo cual ocasiona su vez la obtención de un coeficiente de correlación negativo al aumentar las esporas mientras disminuyen las horas de luz.

Aspergillus/Penicillium, *Epicoccum* y *Ganoderma*, obtuvieron una correlación positiva tanto con la temperatura como con las horas de luz, al igual que sucede con *Alternaria*. A pesar de que *Ganoderma* se trata de una espora de presencia nocturna (Sánchez Reyes et al., 2007; Almaguer et al., 2018), obtuvo resultados positivos con la temperatura y la insolación. Esto pudo deberse a que sus máximas concentraciones se registran en agosto-septiembre, disminuyendo bruscamente en octubre y noviembre (ver figura 3.9, página 118), lo que pudo propiciar el hecho de una correlación de signo positivo con la temperatura y las horas de luz, al disminuir las esporas en la atmósfera según disminuían las horas de luz y las temperaturas.

Aspergillus/Penicillium solamente mostraron correlación con la temperatura siendo no significativa con las horas de luz. Esto pudo ser provocado por la gran cantidad de esporas

recogidas durante mayo de 2014, coincidiendo con el aumento de temperaturas propias de la estación. Incluso al año siguiente con el máximo de estas esporas siendo tres veces menor, se detectó de igual manera en el mismo mes. Otros autores no encontraron correlaciones entre los parámetros meteorológicos y las esporas de *Aspergillus/Penicillium* (Oliveira et al., 2009b). *Epicoccum* por su parte, obtuvo un resultado similar al obtenido para *Ganoderma* ya que sus niveles comienzan a descender cuando las horas de luz y la temperatura disminuyen. Otros autores han reportado la misma correlación de signo positivo con la temperatura y un pico de concentraciones en otoño (Rizzi Longo et al., 2009).

- Precipitaciones y humedad relativa

Ambos parámetros han servido en la literatura para dividir a las esporas en dos categorías: esporas húmedas y esporas secas (wet/dry air spores), como indican varios autores (Elvert et al., 2007; Camacho et al., 2018; Pace et al., 2019; Ščevková et al., 2019). Mientras que las dry spores se suelen corresponder con esporas como *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, presentes a lo largo del año y con sus máximos en torno a la primavera-verano (Sousa et al., 2016), las wet air spores se corresponden con Ascomicetos y Basidiomicetos en su mayoría como *Agaricus*, *Coprinus*, *Leptosphaeria* y *Pleospora* (Grinn Gofroñ et al., 2018).

Debido a esto, las correlaciones obtenidas entre las wet air esporas y la precipitación junto a la humedad relativa fueron positivas y significativas en los cuatro tipos esporales, mientras que *Coprinus* sólo obtuvo su correlación con la humedad relativa. Posiblemente la ausencia de correlación de signo positivo entre esta espora y las precipitaciones sea debida a que, como se expuso anteriormente, su distribución esta extendida a lo largo del año, mientras que *Agaricus* (del mismo grupo Agaricales), sí que llegó a obtener un coeficiente positiva con las precipitaciones.

Tanto *Leptosphaeria* como *Pleospora* han sido reportadas por varios autores como dependientes de las precipitaciones y la humedad relativa (Magyar et al., 2006; Sánchez Reyes et al., 2016), obteniendo resultados similares en la ciudad de Salamanca, viendo como sus concentraciones aumentan en periodos con registro de lluvias.

Desde hace años se ha demostrado como la presencia de precipitaciones actúa barriendo las partículas de la atmósfera por medio del llamado efecto lavado (McDonald, 1962; Magyar et al., 2009) y, si bien las esporas se ven afectadas de igual manera por este fenómeno, varios autores han reportado un aumento en las concentraciones esporales de la atmósfera tras un periodo de lluvia (Pérez Gorjón et al., 2003; Sánchez Reyes et al., 2009a).

Cladosporium obtuvo coeficientes negativos tanto para la humedad como para las precipitaciones. No obstante, varios autores no han encontrado una influencia directa de las precipitaciones sobre

las concentraciones de esta espora, al encontrarse a lo largo de todo el año, tanto en días lluviosos como secos (Oliveira et al., 2009b; Bardei et al., 2013). En nuestro estudio, la correlación negativa con la lluvia pudo venir dada por el hecho de que las concentraciones esporales durante 2015 disminuyeron prácticamente a la mitad de junio - julio coincidiendo con las máximas lluvias ocurridas en ese año. Respecto a *Alternaria*, las lluvias mostraron estar correlacionadas negativamente con las concentraciones de esta espora, debido al efecto barrido mencionado anteriormente. En la figura 4.11 se muestra como, durante el mes de julio de 2014, los días que recogieron lluvias, se registraron bajadas en las concentraciones de *Alternaria*.

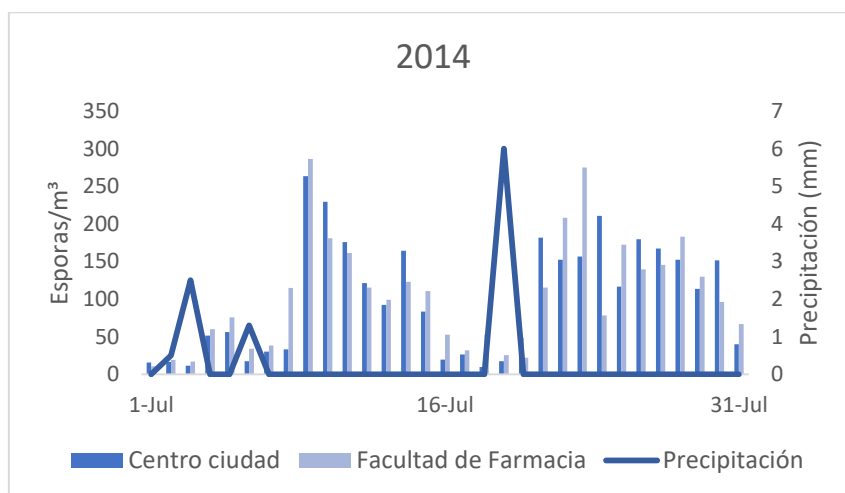


Figura 4. 11. Relación entre las esporas de *Alternaria* recogidas y las precipitaciones de julio de 2014.

Tanto *Epicoccum* como *Periconia* mostraron una correlación negativa únicamente con las lluvias, siendo no significativa en el caso de la humedad relativa. Esto puede estar relacionado, en el caso de *Epicoccum*, con su distribución, la cual disminuye entre octubre y noviembre, periodo en el que se registran lluvias abundantes. De igual manera parece ocurrir con *Periconia* la cual tuvo una inversión en las concentraciones de noviembre; mientras que en 2015 se sucedió su máximo de concentraciones mensuales, en 2014 se produce un marcado descenso, coincidiendo con las lluvias de dicho mes, que fueron las más abundantes de todo el año, incrementando posteriormente sus valores en diciembre. Este comportamiento también ha sido descrito en otros países como Polonia (Grinn Gofroń & Bosiacka, 2015) y ciudades cercanas como Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2012).

El tipo *Aspergillus/Penicillium* y *Ganoderma* obtuvieron sendas correlaciones negativas con las precipitaciones y la humedad relativa. En el primer caso, al tratarse de un tipo que engloba ambos tipos de esporas, por su similitud y dificultad a la hora de identificar de forma independiente, se pueden observar resultados opuestos al comprarar nuestros resultados con otras investigaciones.

Pyrri y Kapsanaki Gotsi (2015) comentaron que *Aspergillus* suele incrementar sus concentraciones en verano mientras que las de *Penicillium* disminuyen, coincidiendo con los requerimientos que establece Loeffert (2018) para el desarrollo óptimo de *Aspergillus* (entre 30-35°C con una media de 70% de humedad). Por otro lado, otras investigaciones reportan a *Penicillium* con condiciones de humedad relativa elevadas (Mehrotra, 1983; Kunjam & Jadhav, 2017). Por ello, al disminuir sus concentraciones de mayo a junio, momento en el que se registran precipitaciones tanto en 2014 como en 2015, se produce una correlación negativa con ambos parámetros, al disminuir también las esporas con el incremento de humedad por las lluvias, por lo que muy probablemente la mayoría de esporas incluidas en el tipo *Aspergillus/Penicillium* correspondan a *Aspergillus*.

Ganoderma por su parte, al recogerse mayoritariamente a finales de verano, e ir disminuyendo sus concentraciones con el incremento de lluvias y humedad relativa propias del otoño, se establece dicha correlación de signo negativo, la cual ha sido recogida por otros autores (Sánchez Reyes et al., 2009).

- Vientos

A la hora de analizar la influencia de los vientos es preciso tener en cuenta los dos componentes de los mismos que fueron analizados: la velocidad y la dirección. La velocidad del viento únicamente fue positiva en dos casos, *Aspergillus/Penicillium* y *Pleospora*, obteniéndose coeficientes negativos (siendo no significativos para *Leptosphaeria*) para el resto de las esporas. En el caso de *Aspergillus/Penicillium* otros autores han encontrado la misma correlación positiva con estas esporas (Pyrri y Kapsanaki Gotsi, 2017). El viento es un factor determinante en la separación de las esporas de los cuerpos fructíferos, transporte y resuspensión de las esporas, estando muy relacionado con la diversidad de esporas en la atmósfera (Irga & Torpy, 2016). Esto sumado al pequeño tamaño de las esporas de *Aspergillus/Penicillium* (Almaguer et al., 2015), es propicio para el aumento de las concentraciones de esporas con un aumento en la velocidad de los vientos.

En lo que concierne a la dirección del viento, en el caso de *Alternaria*, obtuvo coeficientes positivos únicamente en los vientos del noreste y sureste al igual que *Cladosporium* y *Epicoccum*. El entorno que rodea la ciudad de Salamanca no es tan propicio para el desarrollo de estas esporas, como pueden serlo las grandes extensiones de cultivos de Valladolid y Toledo que coinciden con esas direcciones (Sabariego et al., 2012; Sánchez Reyes et al., 2016). Otras esporas que se vieron influenciadas por la dirección del viento fueron *Agaricus*, *Coprinus* y *Leptosphaeria*, pertenecientes a las esporas húmedas mencionadas anteriormente cuya presencia suele estar asociada a masas forestales, donde la humedad relativa y el registro de lluvias son factores adecuados para la formación y dispersión de estas esporas. *Ganoderma* igualmente tuvo

correlación positiva con vientos procedentes del segundo y cuarto cuadrante, al ser habitual esta espora en zonas boscosas (Grinn Gofroń & Strzelczak, 2011; Sadyś et al., 2014), presentes en esas direcciones (sierra de Béjar y Arribes del Duero, además de otros bosques de fuera de la provincia en Ávila y Zamora). Hay que tener en consideración también su presencia en los jardines y zonas verdes de la ciudad debido a la humedad que poseen, lo que hace en su conjunto, que sean tipos esporales abundantes en la zona de estudio y que, en el caso de *Agaricus*, apenas obtuviera una correlación positiva aunque de escaso valor con el III cuadrante (zona de la Sierra de Francia, con presencia de este hongo basidiomiceto).

GRANOS DE POLEN

Espectro polínico y variación interanual

Los resultados obtenidos tras el estudio del espectro polínico durante el periodo 2014-2016, nos dan una idea de cómo ha variado la presencia de determinadas partículas polínicas en la atmósfera de Salamanca en los últimos años. Las concentraciones obtenidas por Rodríguez de la Cruz (2009) variaron entre los diferentes años que duró su estudio, con total anual de 31103 granos de polen/m³, durante el año 2007, estando el resto de anualidades estudiadas en su Tesis Doctoral, entre 8000 y 25000 granos de polen/m³. Otras ciudades españolas, sin embargo, obtuvieron valores superiores a los observados en la atmósfera de Salamanca, como las registradas en Madrid (Pérez Badía et al., 2010) o la gran cantidad de granos de polen registrados en Cáceres durante el periodo 2000-2001 con más de 140000 (Paulino et al., 2002). Por otro lado, los resultados aquí contenidos fueron similares a los obtenidos en otras zonas mediterráneas como Croacia (Puljack et al., 2016) o Túnez (Hadj Hamda et al., 2017). Las variaciones entre datos pueden venir explicadas por los diferentes entornos que rodean a las ciudades, las diferencias en el ajardinamiento urbano y especies ornamentales presentes, junto con el manejo antrópico de los mismos.

Desde el punto de vista cualitativo, el estudio registró un total de 47 tipos de polen tal como se comentó en resultados (ver página 169). Este resultado es muy similar al obtenido por Tosunoglu y colaboradores (2018) en Turquía, durante tres años (2014-2016, completos), donde registraron 44 taxa, pero las concentraciones de granos de polen resultaron de aproximadamente diez veces menor en dicho estudio. Sin embargo, en España (Picornell et al., 2019), a pesar de contar con sólo un año de muestreo (2018), registraron 37 taxa y la concentración total de granos de polen prácticamente dobla las cantidades registradas en Salamanca. En otras ciudades de Castilla y León se registraron resultados similares como en León (Vega Maray et al., 2002), con 44 tipos de polen diferentes, Valladolid (Sánchez Reyes, 2011), con 45 tipos e incluso en estudios previos realizados en Salamanca (Rodríguez de la Cruz, 2009) con una media de 58 tipos de polen diferentes.

Debido a la situación de Salamanca, rodeada por dehesas donde las encinas son la vegetación arbórea mayoritaria y como resultado del gran número de granos de polen que son capaces de liberar (García Mozo et al., 2007), este tipo de polen constituyó el más abundante registrado en la atmósfera, al igual que sucede con Cupressaceae en Ponferrada (Fuertes Rodríguez et al., 2007) o con los mismos *Quercus* en Extremadura (Tormo et al., 1999), y con otras especies anemófilas como *Platanus* (Tormo Molina et al., 1996).

Como se aprecia en la tabla 4.4, durante el periodo 2015-2016 hubo un aumento en todos los tipos de polen a excepción de Cupressaceae (de un 7,5% en 2014-2015, a un 6,1%) y *Quercus* (pasando

del 49,2% en el primer periodo, a un 24,8% en el segundo). No obstante *Quercus* fue el tipo polínico mayoritario durante todo el periodo de muestreo llegando a representar el 49,2% durante 2014-2015. Esta fluctuación en los datos ha sido reportada por otros autores (Corden & Millington, 1999; Spieksma et al., 2003), los cuales han determinado un comportamiento bianual, en los que la producción polínica es muy elevada, frente a épocas con valores reducidos. Además, el hecho de situarse Salamanca en un enclave rodeado de dehesas como se mencionó en el apartado *Material y Métodos. Área de estudio* (ver páginas 47 a 49), favorece un aporte mayoritario de este tipo de granos de polen al estar la fuente productora rodeando a la fuente de captación.

Tabla 4. 4. Variación interanual de los tipos más abundantes de polen presentes en la atmósfera de Salamanca.

| Tipo de espora | 2014 | 2015 | 2015 | 2016 |
|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | Índice polínico anual* | Porcentaje total (%) | Índice polínico anual | Porcentaje total (%) |
| Cupressaceae | 2577 | 7,5 | 2325 | 6,1 |
| <i>Fraxinus</i> | 609 | 1,8 | 2156 | 5,7 |
| <i>Olea</i> | 584 | 1,7 | 1557 | 4,1 |
| <i>Pinus</i> | 2590 | 7,5 | 3419 | 9 |
| <i>Plantago</i> | 431 | 1,2 | 1426 | 3,7 |
| <i>Platanus</i> | 1246 | 3,6 | 2084 | 5,5 |
| Poaceae | 3659 | 10,6 | 5279 | 14 |
| <i>Populus</i> | 1194 | 3,5 | 2773 | 7,3 |
| <i>Quercus</i> | 16886 | 49,2 | 9406 | 24,8 |
| <i>Rumex</i> | 845 | 2,4 | 1049 | 2,7 |
| Total | 34310 | 100 | 37816 | 100 |

*granos de polen/m³

El segundo tipo de polen que registró las mayores concentraciones anuales fue Poaceae, constituyendo el elemento polínico más abundante no arbóreo de la atmósfera de Salamanca, como se ha recogido en otras zonas de Castilla y León (Sánchez Reyes, 2011), Toledo (García Mozo et al., 2006) o Extremadura (Paulino et al., 2002), así como en otras zonas del Mediterráneo (Aboulaich et al., 2013).

A continuación se sitúan los granos de polen de *Pinus* y Cupressaceae con valores del 7,5% (ambos tipos de polen durante el periodo 2014-2015), llegando *Pinus* hasta el 9%, registrado durante 2015-2016. El hecho de encontrar cerca de Salamanca importantes formaciones de pinares en zonas al sur de la provincia, así como al norte cercanas a Valladolid, sumado a que existen puntos de la ciudad en los que estos árboles se encuentran plantados como ornamento en

varios parques y jardines, contribuye a la presencia de un gran número de partículas polínicas de este tipo en la atmósfera de Salamanca. Ello mismo se ha comprobado en otras ciudades de España (Rodríguez Rajo et al., 2003), Cataluña (Majeed et al., 2018) y Turquía (Tosunoglu & Bocakci, 2015). De igual modo, en estos últimos dos trabajos mencionados, Cupressaceae resultó ser el tipo mayoritario, similar a lo obtenido para la ciudad de Salamanca en años previos (Rodríguez de la Cruz et al., 2016), habiendo obtenido la tercera posición tras *Quercus* y Poaceae en nuestro estudio. Este resultado pudo derivar de la amplia abundancia de Cupressaceae como ornamental a lo largo de la ciudad. El motivo por el cual las concentraciones recogidas en el trabajo de Rodríguez de la Cruz (2016) son tan abundantes, viene condicionado por la época en la que se realizó el muestreo ya que en los años 2007-2008, una masa arbórea de Cupressaceae estaba presente en las cercanías del captador, siendo eliminada años más tarde, lo que pudo ocasionar una disminución en la concentración de granos de polen recogidos en nuestro periodo de análisis.

Olea mostró una diferencia en sus concentraciones aumentando de un 1,7% en 2014-2015 hasta un 4,1% en 2015-2016. Varios autores han reportado un comportamiento bianual en la producción de este tipo de polen (Ribeiro et al., 2005; García Mozo et al., 2008), así como un aumento del uso ornamental de este tipo de arbolado en parques y jardines que pudo incrementar el número de granos de polen registrados. Dicho uso como ornamental pudo comprobarse en la publicación del artículo III, al encontrarse un mayor número de granos de polen de este tipo en el centro de la ciudad.

Fraxinus, *Platanus* y *Populus*, mostraron un aumento notable en la cantidad de granos de polen registrados durante el periodo 2015-2016. Las concentraciones de *Platanus*, pueden venir relacionadas por la presencia de estos árboles, distribuidos a lo largo de la ciudad ya que son comúnmente plantados como elemento ornamental (Alcázar et al., 2004; Sánchez Reyes et al., 2009b). De manera similar *Fraxinus* suele emplearse como ornamento en parques y jardines (Cariñanos & Casares Porcel, 2011) y además está presente en las riberas creciendo de forma natural (Monroy Colín et al., 2018), al igual que *Populus*. Todo esto sumado al manejo antrópico de dichas especies, puede suponer cambios en la concentración de polen registrado, en función de si se realizan o no podas y cuándo se realizan, por ejemplo.

Por último, las especies herbáceas como *Plantago* y *Rumex*, vieron aumentadas sus concentraciones de manera notable. Este hecho pudo ser promovido por las extensas lluvias recogidas en abril, mencionadas anteriormente, las cuales sumadas al incremento de temperaturas del mes de mayo, propiciaron las condiciones adecuadas para el desarrollo de este tipo de especies, también muy abundantes en la zona cercana al río, siendo un factor más de acumulación de este tipo de granos de polen (Kasprzyk, 2006).

Variación estacional

La distribución de las partículas polínicas registradas en la atmósfera de Salamanca, estuvo protagonizada por la primavera, la cual obtuvo un porcentaje total anual del 74,4% en 2014, mientras que en 2015, se situó ligeramente por debajo con un 67,7% (Tabla 4.5).

La estacionalidad o la distribución anual de algunas partículas aerovagantes suele apuntar a unos patrones bien establecidos, correspondiente con la fenología de las especies botánicas, la cual marca la difusión polínica a la atmósfera en épocas determinadas de floración (Tormo et al., 2011). Esto se traduce en que la gráfica de distribución anual de los granos de polen adquiera un pico en mayo (fig. 4.12), momento en el que la gran mayoría de especies realiza su liberación del polen, aunque este fenómeno comprenda prácticamente toda la primavera (marzo-junio). Los individuos con un carácter más invernal o de inicio de primavera como la familia Cupressaceae y los géneros *Alnus*, *Corylus* y *Fraxinus*, tienen sus inicios desde octubre o noviembre, en función de las características del año, lo que provoca unos picos de distribución en los meses de invierno.

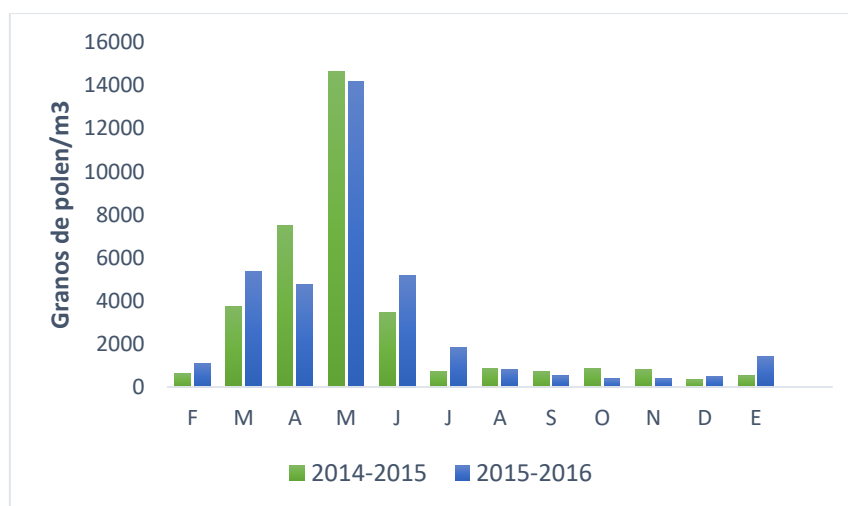


Figura 4. 12. Distribución de las concentraciones totales mensuales de granos de polen.

Este pico primaveral ya se ha puesto de manifiesto en varios estudios del espectro polínico realizado en varios puntos de España (Suárez González et al., 2003; García Mozo et al., 2006), así como en otras partes del mundo (Ščevková et al., 2010; Ianovici et al., 2013). El mes de mayo es el momento en el que el máximo de representación está establecido con un porcentaje en torno al 40% en ambos años. Estos resultados han sido reportados por otros autores como Celenk & Bicakci (2005) y Erkara (2008) en Turquía, o ya en el territorio español como en Toledo (Pérez Badía et al., 2010). Esto fue debido a la superposición de los granos de polen de especies arbóreas que finalizaban su producción y las especies herbáceas que comenzaban a producir sus granos de polen, extendiéndose entre mayo y junio de forma generalizada (Kuczek et al., 2017).

Tabla 4. 5. Distribución estacional de los granos de polen capturado durante el periodo de estudio.

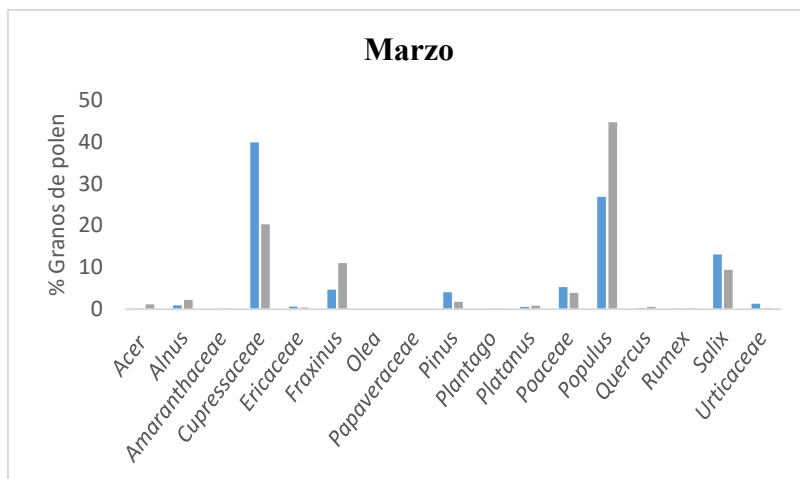
| Primavera | | | | |
|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | MARZO | ABRIL | MAYO | Total |
| 2014-2015 | 3728 (10,7%) | 7491 (21,5%) | 14665 (42,1%) | 25883 (74,4%) |
| 2015-2016 | 5658 (15,4%) | 4755 (12,9%) | 14439 (39,3%) | 24851 (67,7) |

| Verano | | | | |
|------------------|---------------|--------------|---------------|-----------------|
| | JUNIO | JULIO | AGOSTO | Total |
| 2014-2015 | 2467 (7%) | 728 (2%) | 879 (2,6%) | 4074 (11,7%) |
| 2015-2016 | 5147 (14%) | 1841 (5%) | 836 (2,3%) | 7823 (21,3%) |

| Otoño | | | | |
|------------------|-------------------|----------------|------------------|----------------|
| | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | Total |
| 2014-2015 | 718 (2%) | 881 (2,5%) | 803 (2,3%) | 2403 (6,9%) |
| 2015-2016 | 528 (1,4%) | 364 (1%) | 393 (1%) | 1286 (3,5%) |

| Invierno | | | | |
|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| | DICIEMBRE | ENERO | FEBRERO | Total |
| 2014-2015 | 336 (0,9%) | 516 (1,5%) | 1581 (4,5%) | 2433 (7%) |
| 2015-2016 | 469 (1,3%) | 1398 (3,8%) | 890 (2,4%) | 2757 (7,5%) |

El periodo primaveral (fig. 4.13), como se ha puesto de manifiesto es la época que registró una mayor concentración de partículas polínicas. *Salix*, *Populus* y *Platanus*, se encuentran en estos meses, estando *Salix* presente en marzo, junto con *Populus*, mientras que *Platanus* está restringido al mes de abril (Sánchez Reyes et al., 2009).



Tipo de polen
■ 2014-2015
■ 2015-2016

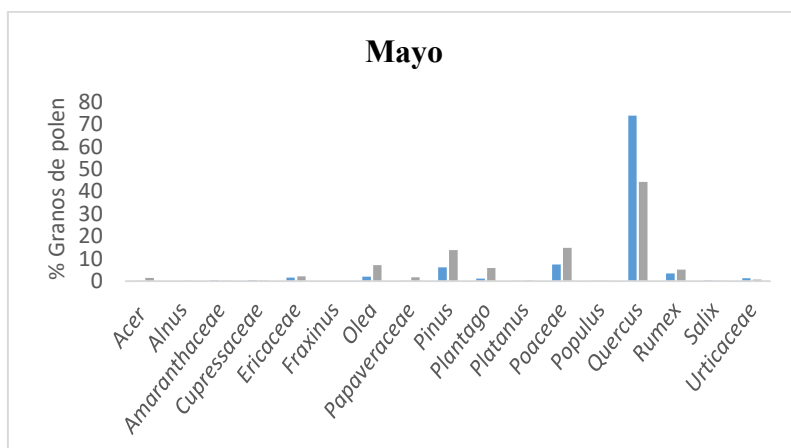
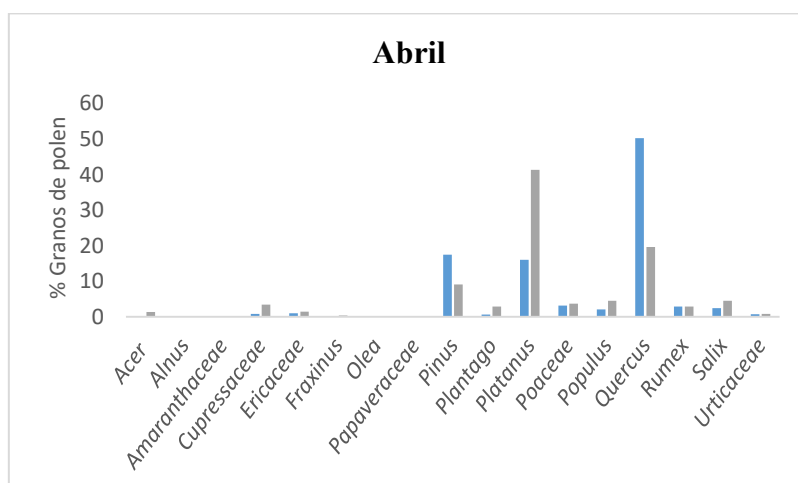


Figura 4. 13. Porcentajes mensuales de representación de los tipos de polen recogidos durante la primavera.

El periodo de *Salix* y *Populus* ha sido constatado en otras ciudades como Porto (Ribeiro et al., 2009), con *Salix* situado al final de febrero, mientras que en nuestro caso comienza a aparecer a mediados de marzo. Cupressaceae tuvo su máximo durante 2014 desapareciendo totalmente en mayo al igual que *Fraxinus*, como es característico en estas especies invernales. *Quercus* obtuvo la máxima representación del total polínico con valores entre el 50 y el 73% entre abril y mayo

respectivamente, siendo estos porcentajes menores en 2015, probablemente ocasionado por el aumento de la humedad relativa debido a las lluvias presentes en abril (Rizzi Longo et al., 2005; Rodríguez de la Cruz et al., 2008). *Pinus* tuvo un porcentaje del 17% durante abril de 2014, similar al constatado en otras investigaciones (Rodríguez Rajo et al., 2003).

El periodo estival estuvo caracterizado por un predominio de Poaceae y *Quercus*, con algunos representantes herbáceos como Papaveraceae y Urticaceae que aumentaron ligeramente sus concentraciones en julio y agosto de 2015 (fig. 4.14).

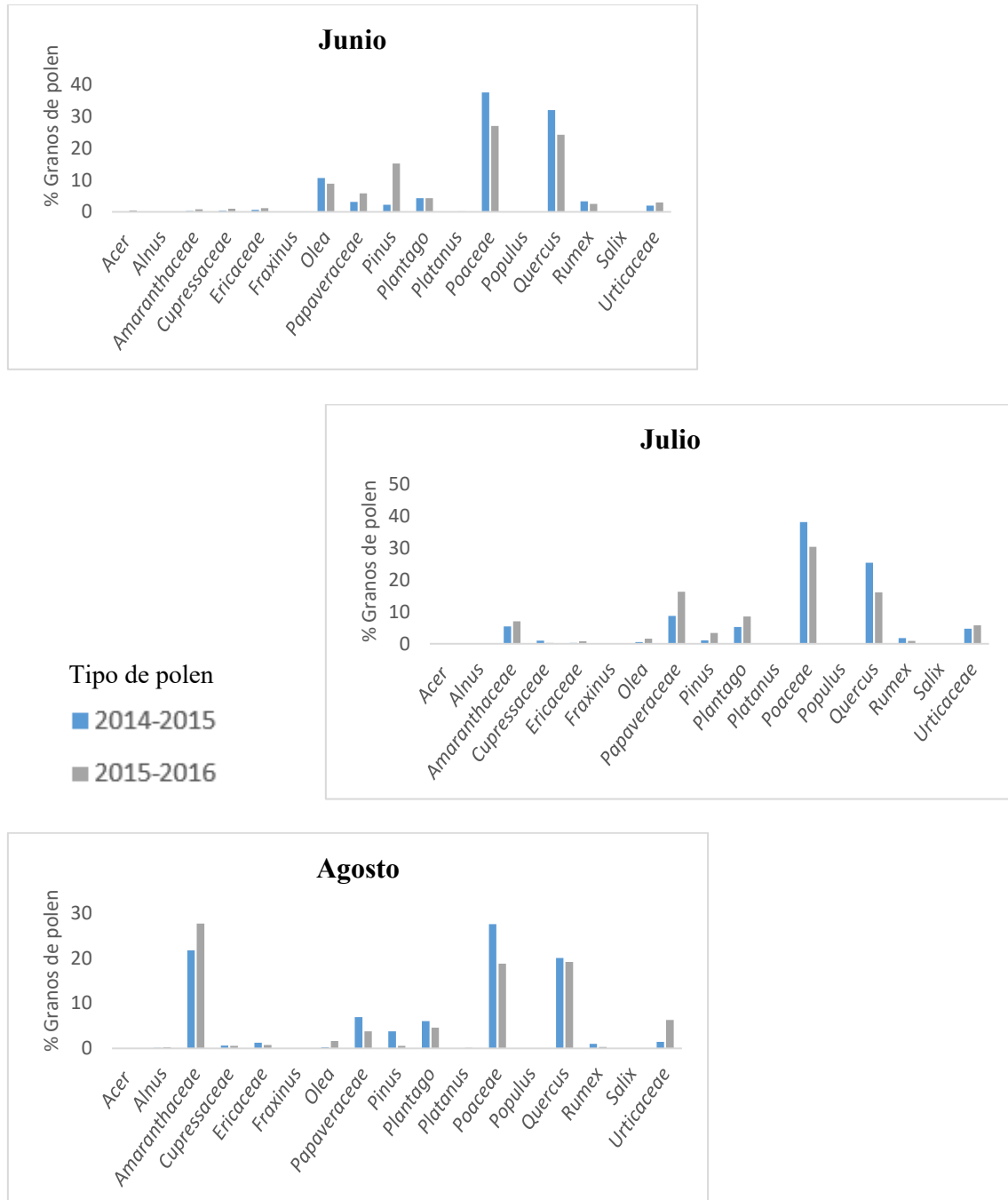


Figura 4. 14. Porcentajes mensuales de representación de los tipos de polen recogidos durante el verano.

Además de mostrarse *Pinus* durante junio de 2015, Amaranthaceae tuvo sus máximos establecidos en agosto del mismo año, con unos valores casi idénticos a los obtenidos por Poaceae durante 2014. Como varios autores han señalado, esta época es propicia para este tipo de polen ya que los requerimientos necesarios para su desarrollo son óptimos en cuanto a temperatura y precipitaciones (Rodríguez de la cruz et al., 2012).

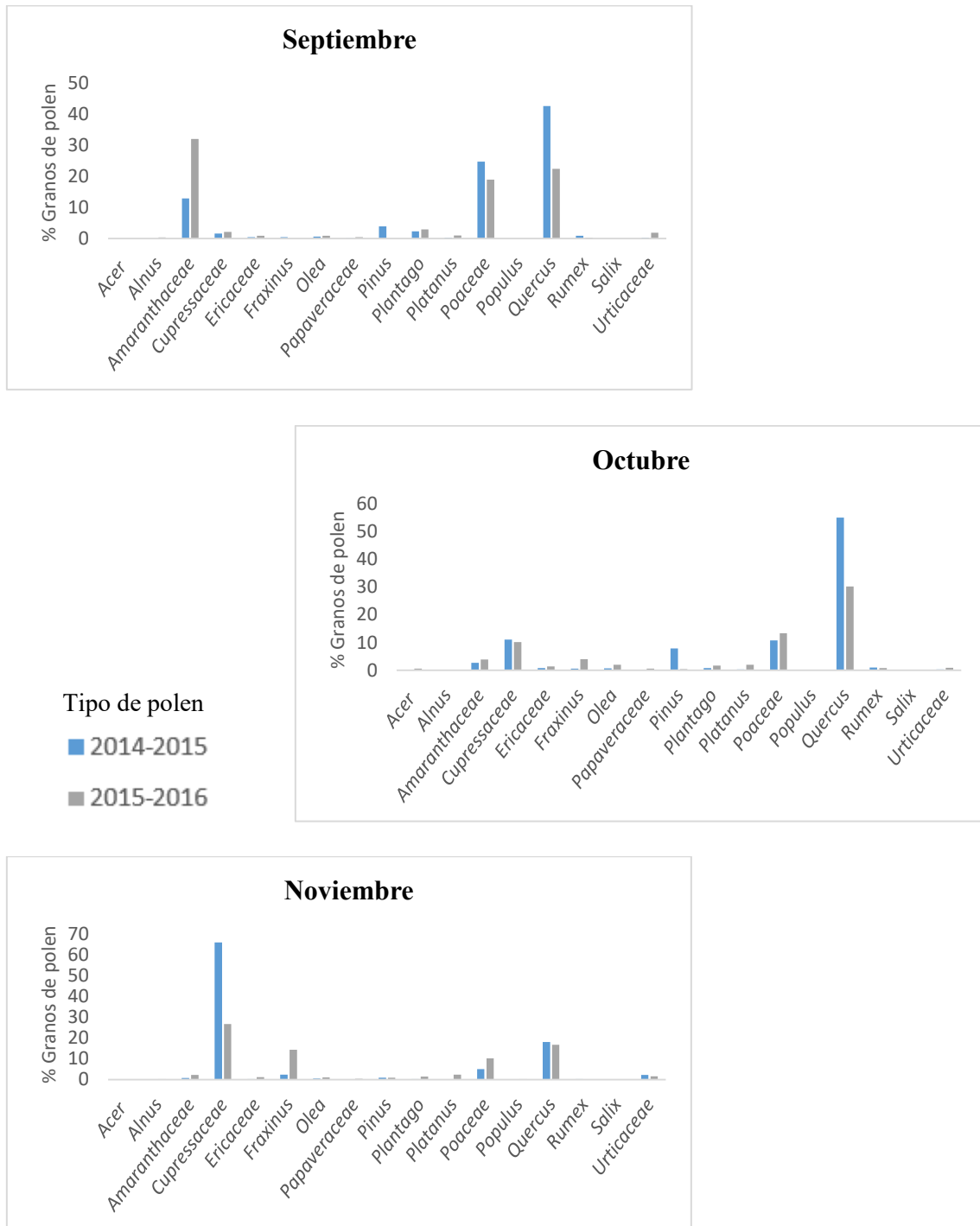


Figura 4. 15. Porcentajes mensuales de representación de los tipos de polen recogidos durante el otoño.

Olea estuvo presente de manera notable en el mes de junio, momento en el que tuvo su máxima presencia en la atmósfera, apareciendo posteriormente en bajo número, similar a los resultados obtenidos en otras zonas de la región mediterránea, tanto fuera como dentro de España (Dimou, 2012; Garrido et al., 2020).

Durante el periodo otoñal, los tipos representativos de polen en la atmósfera disminuyeron, con *Quercus* decreciendo en su abundancia a medida que transcurren los meses (fig. 4.15).

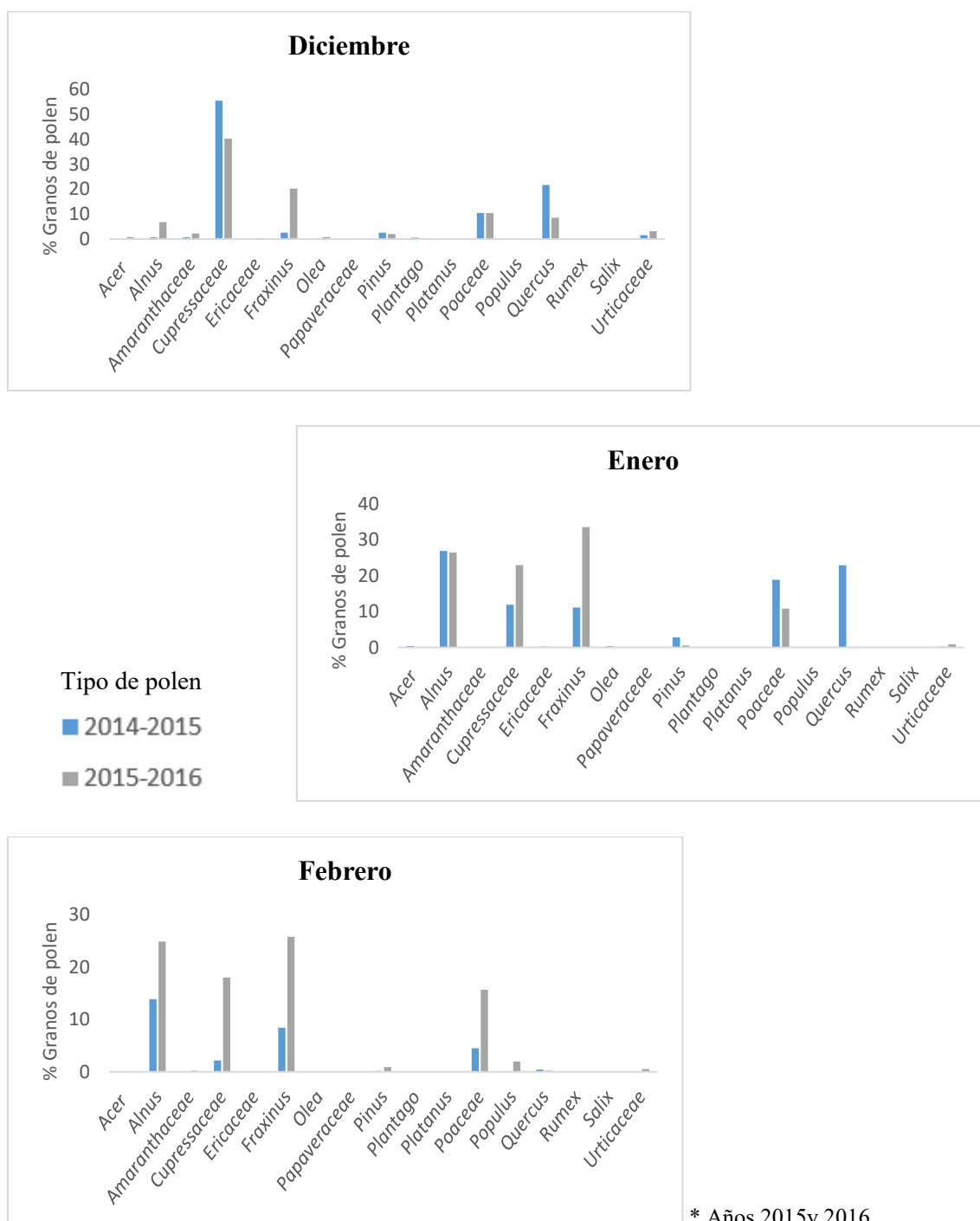


Figura 4. 16. Porcentajes mensuales de representación de los tipos de polen recogidos durante el invierno.

Este descenso estuvo especialmente marcado en octubre de 2014, cuando sus valores de concentración pasan de un 55%, a estar en torno al 18% en noviembre, debido quizás al efecto lavado que pudieron ejercer las abundantes lluvias de dicho mes. *Amaranthaceae* obtuvo un pico máximo durante septiembre de 2015, disminuyendo a partir de entonces y *Pinus* mostró tímidos porcentajes rondando el 4-7% entre septiembre y octubre. *Poaceae* se mantuvo en valores similares durante octubre y noviembre, teniendo la máxima representación de la estación en septiembre coincidiendo con el final de su periodo principal (Aboulaich et al., 2013). *Fraxinus* comienza a aparecer en noviembre de 2015 y *Cupressaceae* registra un gran incremento en el mismo mes durante 2014, provocando un pico en su concentración, hecho constatado en otras investigaciones (Aira et al., 2018).

El periodo invernal (fig. 4.16) estuvo caracterizado por aquellas especies típicas de esta estación como son el caso de *Alnus*, *Cupressaceae* y *Fraxinus*. Estas especies suelen tener un comienzo de su floración a finales del invierno necesitando de un periodo frío seguido de un aumento en las temperaturas que las despierte de ese estado de dormición característico en estas especies (Iglesias et al., 2003; Jato et al., 2004). De manera generalizada, vemos que el periodo 2015-2016 supuso un mayor porcentaje en la representación de *Alnus* y *Fraxinus*, mientras que para *Cupressaceae* la abundancia fue mayor en el año 2014. Respecto a este tipo de polen, las abundantes lluvias de 2014 ocurridas en noviembre explicarían su presencia tanto durante este mes como durante diciembre, tal y como otros autores han expuesto (Gomes et al., 2019). Junto con estos tipos se aprecia también la presencia de *Poaceae* durante 2015-2016 y *Quercus* en enero y febrero de 2015, posiblemente ocasionado de igual manera por unas temperaturas superiores al mes de diciembre.

Estos resultados han sido descritos de manera similar previamente (Rodríguez de la Cruz, 2009), teniendo como máxima estación polínica la primavera seguida del verano para aquellos tipos herbáceos, con unos requerimientos mayores de temperatura. El porcentaje de la estación invernal superó a la otoñal, al situarse en esta las especies invernales mencionadas anteriormente, estando además *Cupressaceae*, como una de las partículas polínicas predominante en la atmósfera de Salamanca.

Variación intradiaria

Con la finalidad de determinar el comportamiento de las partículas polínicas registradas en la atmósfera de Salamanca durante el periodo de estudio 2014-2016, se realizó la distribución horaria en aquellos tipos que obtuvieron una representación anual igual o superior al 0,5% entre ambos años. Como resultado de dicho análisis se establecieron tres niveles o franjas horarias, de ocho horas cada una (01-08h, 09-16h y 17-24h), en base a la suma de las concentraciones diarias

de cada tipo de polen, para cada franja horaria. Respecto a la franja que más tipos de polen contiene, es aquella localizada entre las 17 y las 24 horas, ocupando las horas de la tarde y parte de la noche (fig. 4.17). Cabe destacar que tres de los tipos polínicos asignados a esta franja del día, son de los más abundantes encontrados en la atmósfera de Salamanca y, aunque podemos encontrarlos en varios momentos del día, la suma de sus concentraciones diarias sitúa los máximos registrados en esta franja horaria. En el caso de Poaceae, estos resultados también han sido registrados en ciudades como Porto (Ribeiro et al., 2008) y se ha constatado que este tipo de polen suele alcanzar su pico máximo durante la noche estando en altas concentraciones en la segunda mitad del día (Simoleit et al., 2017), tal y como sucede en nuestro caso. *Quercus* al ser el tipo más abundante de polen, tiene una distribución que comprende prácticamente 12 horas en las que se alcanzan concentraciones elevadas, pero nuevamente, el conjunto de sus máximos se corresponde con la franja de 17-24 horas, reportándose comportamientos similares en ciudades como Córdoba (García Mozo et al., 2007). En lo concerniente a *Pinus*, nuestros resultados fueron similares a los recogidos en Porto (Ribeiro & Abreu, 2014). Estos resultados también están propiciados por la distancia existente entre las fuentes de emisión polínica al captador, estando alejadas las zonas de pinares de la provincia de Ávila y al sur de Valladolid y las dehesas de *Quercus* presentes en la zona de Extremadura y aproximadamente a 40 km de la ciudad en la zona del Campo Charro.

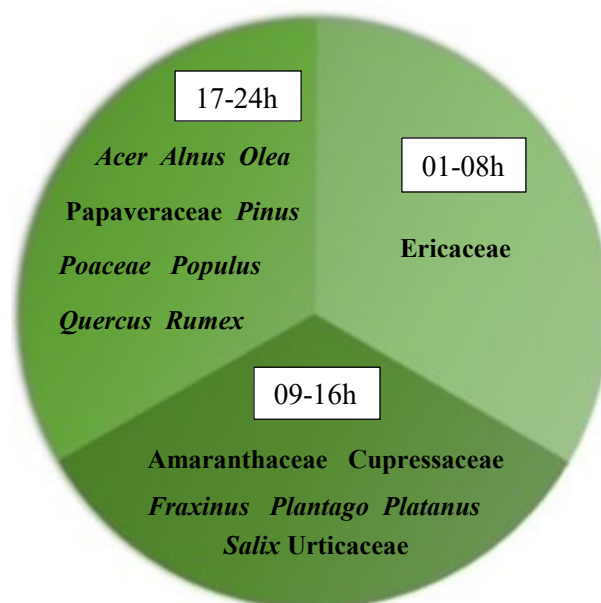


Figura 4. 17. Distribución horaria de los tipos de polen más abundantes en la atmósfera de Salamanca durante el periodo de estudio 2014-2016.

El resto de tipos contenidos en esta franja horaria fueron *Acer*, *Alnus*, *Olea*, *Papaveraceae*, *Populus* y *Rumex*. Es importante señalar que, aunque los máximos de *Populus* y *Rumex* se sitúan en esta

franja horaria, hay otros momentos de máximos a lo largo de varias horas comprendidas en otras franjas horarias, aunque de menor valor. Ello puede estar motivado por la situación del captador ya que prácticamente al lado se sitúa la chopera del río Tormes, motivo por el cual al estar la fuente origen cercana al captador, los registros de concentraciones máximas se establezcan a lo largo de varias horas (Trigo et al., 1997). De manera similar puede explicarse para el caso de *Rumex*, el cual como se comentó en el artículo correspondiente (Fuentes et al., 2020), *Rumex crispus* L. crece fácilmente debido al entorno favorable con el Río (Kruczek et al., 2017), que además se sitúa también a escasos metros del captador.

Alnus por su parte obtuvo un patrón de distribución nocturno alcanzándose los máximos de concentración entre las 23 y las 01h, hecho que parece constatarse en zonas como Polonia donde los autores relacionan estos picos nocturnos con el transporte de polen desde fuentes lejanas (Borycka & Kasprzyk, 2018). A las afueras de la ciudad se encuentran bien representadas masas de *Alnus* repartidas entre las zonas de Las Batuecas-Sierra de Francia, al suroeste de la provincia, y a lo largo de varios puntos del río Tormes hacia el oeste. Respecto a Papaveraceae no suele encontrarse una bibliografía extensa en aerobiología debido a su carácter entomófilo, además de presentar una distribución escasa e irregular como han puesto de manifiesto otros autores (Rodríguez de la Cruz, 2009; Uğuz et al., 2018). No obstante, en las inmediaciones del captador, hay terrenos donde se encuentran presentes integrantes de la familia Papaveraceae, junto a zonas con alta movilidad de tráfico y zona de obras, lo cual pudo ocasionar movimientos de aire, haciendo llegar así los granos de polen al captador.

Olea obtuvo las concentraciones diarias máximas en la franja de las 16 a las 24 horas de manera similar a lo obtenido en la ciudad de Cuenca (Pérez Badia et al., 2011), aunque con un patrón más regular a lo largo del día. Igualmente importantes son las fuentes polínicas de carácter ornamental, presentes cada vez en mayor número a lo largo de la ciudad, junto con otras fuentes más lejanas como los olivares de Extremadura. *Acer* registró la concentración máxima a las 16 horas pero a continuación hubo un descenso y provocó nuevamente que la concentración creciera hasta las 23h, resultando la suma de las concentraciones en los máximos recogidos en esta franja horaria. Nuestros resultados se corresponden con otros realizados en la ciudad de Salamanca, ya que cercano al captador se encuentra el parque de Huerta Otea donde esta especie es frecuente como ornamental, y Valladolid (Rodríguez de la Cruz, 2009, Sánchez Reyes, 2011). En otras zonas como Argentina (Nitiu & Mallo, 2002), el máximo se situó un par de horas antes, sobre las 14h horas, con porcentajes similares de concentración (en torno al 6%).

La franja que contiene el segundo mayor número de tipos de polen, es la comprendida entre las 09-16h, conteniendo por un lado varias especies invernales como Cupressaceae y *Fraxinus*, y especies herbáceas como Amaranthaceae, *Plantago* y Urticaceae. Dentro de los tipos

contemplados en esta franja diaria se han observado distribuciones similares para *Amaranthaceae* en Salamanca y Valladolid (Rodríguez de la Cruz et al., 2010), *Cupressaceae* y *Fraxinus* en Porto (Puc, 2012; Ribeiro & Abreu, 2014), *Plantago* en Lugo (Rodríguez Rajo et al., 2003) y Turquía (Tosunoglu & Bicakci, 2015), *Platanus* en Ourense (Iglesias et al., 2007) y *Urticaceae* en Polonia (Kasprzyk, 2006). En el estudio realizado en Valladolid (Sánchez Reyes, 2011), la mayoría de tipos de polen coincidieron en las franjas asignadas para Salamanca, salvo para *Urticaceae* y *Platanus*, de manera similar al anterior estudio aerobiológico realizado en Salamanca (Rodríguez de la Cruz, 2009), donde tanto *Fraxinus* como *Platanus*, se situaron en la franja siguiente de 17-24 horas, y con *Urticaceae* sin mostrar un patrón claro en su distribución intradiaria, contrario a los resultados obtenidos en el periodo 2014-2016, donde se captó el 46% del total diario en la franja central (09-16h) (ver figura 3.59, página 214).

En la franja de 01-08 horas solamente se situó *Ericaceae*. Este tipo polínico obtuvo valores máximos de concentraciones durante la noche, estando en las horas centrales del día sus mínimos diarios, al igual que sucede en la ciudad de Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2007). Esta situación es contraria a la reportada por Rodríguez Rajo y colaboradores (2005) en Vigo, posiblemente debido a la diferencia en la meteorológica de ambas ciudades al presentar la familia *Ericaceae* una distribución mayoritariamente atlántica. Los resultados pueden ser similares al caso de *Alnus* al existir transporte desde fuentes lejanas, habiendo brezales y madroñales dispersos por varios puntos de la provincia de Salamanca, siendo abundantes en la sierra de Béjar, al sur de la capital (Calabuig & Montserrat, 1979).

Correlaciones con parámetros meteorológicos

La presencia y abundancia de partículas polínicas en la atmósfera está determinada tanto por factores propios de la fisiología y fenología de las especies productoras de polen, como por procesos externos a las especies vegetales, como el manejo de parques y jardines (Cariñanos et al., 2014; Maya Manzano et al., 2017). Desde hace décadas se conoce de la influencia de los factores climáticos sobre la producción, liberación y dispersión de los granos de polen (Frenguelli et al., 1991; Barnes et al., 2001; Jato et al., 2002), habiendo estudiado aquellos factores que tienen una mayor influencia en los periodos de floración (Gioulekas et al., 2004; González Parrado et al., 2015), así como los cambios que se van produciendo en el clima a lo largo de los años, siendo las especies arbóreas muy sensibles a las alteraciones que se suceden en su entorno (Damialis et al., 2020).

Temperatura e insolación

En lo que respecta a los granos de polen, la temperatura y las horas de luz son muy necesarias de cara a los periodos de floración y formación del polen para su posterior diseminación, tal y como ha sido demostrado por varios autores (Fernández Martínez et al., 2012; Majeed et al., 2018).

La temperatura ha sido un factor determinante en el fenómeno de emisión polínica a la atmósfera en diferentes especies tal y como se recoge en varios trabajos publicados desde hace años (Norris Hill, 1997; Galán et al., 2001; Fuertes Rodríguez et al., 2007). De ahí el hecho de que la temperatura sea un factor cuya correlación se mostró con signos positivos y significativos en varios de los tipos de polen analizados (Tabla 4.6). Aquellos con una distribución estival son los que mayores coeficientes de correlación obtuvieron, como en el caso de *Amaranthaceae*, *Papaveraceae* o *Poaceae*, al coincidir el inicio de sus periodos principales con el aumento de temperaturas comprendido entre mayo-julio.

Tabla 4. 6. Tipo de correlaciones (signo) entre los tipos de polen analizados y los parámetros meteorológicos.

| | Temp | Insol | Precip | Hrel | Vel vient | Frec calm | NE | SE | SO | NO |
|----------------------------------|------|-------|--------|------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|
| <i>Acer</i> | - | + | - | - | + | - | + | | - | |
| <i>Alnus</i> ¹ | - | - | | + | + | (-) | | | | |
| Amaranthaceae | + | + | - | - | | | + | | - | + |
| <i>Betula</i> | | | | | - | + | | + | | |
| Cupressaceae ¹ | - | - | | + | | | (+) | (+) | - | - |
| Ericaceae | - | + | - | - | + | - | | | | |
| <i>Fraxinus</i> ¹ | - | - | + | + | | | - | | (+) | (-) |
| <i>Olea</i> | + | + | | - | + | - | | | | |
| Papaveraceae | + | | | | | + | - | | + | + |
| <i>Pinus</i> | | + | | - | + | - | | | | |
| <i>Plantago</i> | + | + | - | - | + | - | | | | + |
| <i>Platanus</i> | - | - | | + | | | | + | | |
| Poaceae | + | + | - | - | + | - | | - | (+) | + |
| <i>Populus</i> | - | | | | | | | | | |
| <i>Quercus</i> | + | + | | - | + | - | | - | | + |
| <i>Rumex</i> | - | | | | + | - | | | | |
| <i>Salix</i> | - | - | | | | | | | | |
| Urticaceae | + | + | - | - | + | - | | - | | + |

Temp (temperatura máxima, mínima y media), **Insol** (insolación), **Precip** (precipitación), **Hrel** (humedad relativa), **Vel vient** (Velocidad del viento), **Frec calm** (frecuencia de calmas), **NE, SE, SO, NO** (vientos procedentes del primer, segundo, tercer y cuarto cuadrante). Entre paréntesis, correlaciones con valores bajos (inferiores a 0,1).

¹ Correlaciones establecidas con la totalidad del periodo de muestreo.

El caso de *Rumex* es particular, ya que al obtener un patrón de distribución primaveral, obtuvo una correlación de signo negativo para la temperatura. Como se explicó en el correspondiente artículo (Fuentes et al., 2020), esto probablemente sea debido a que las máximas concentraciones se registran antes del comienzo del incremento de temperaturas que sucede de cara al verano, de manera similar a lo que ocurre en el caso de *Acer*. Por el contrario, aquellos tipos y familias que obtuvieron coeficientes negativos con la temperatura se corresponden con especies cuya floración se inicia en el periodo invernal o en épocas en las que la temperatura no experimenta un incremento en sus valores medios (*Alnus*, Cupressaceae, *Fraxinus*, *Platanus*, *Populus* y *Salix*), debido a que estas especies entran en un estado fisiológico conocido como dormición hacia el final del verano (Iglesias et al., 2003; Rodríguez Rajo et al., 2003a). Estos resultados coinciden con otras investigaciones llevadas a cabo en la ciudad de Salamanca (Rodríguez de la Cruz et al., 2015), a pesar de que, en otras partes del mundo, los coeficientes de correlación muestran valores positivos (Ribeiro & Abreu, 2014; Puljack et al., 2016). Esto puede ser debido al hecho de que sea tomado el año completo al no poderse calcular el PPP, coincidiendo la ausencia de granos de polen con los incrementos de temperatura que se suceden en primavera y verano. En el caso de *Platanus*, los resultados coinciden con las investigaciones llevadas a cabo en Valladolid (Sánchez Reyes et al., 2009), teniendo en cuenta además que esta especie está sometida al manejo antrópico al ser una especie ornamental en entornos urbanos (Alcázar et al., 2004).

La insolación por su parte, es un factor cuya influencia en la liberación de los granos de polen ha sido puesta de manifiesto por varios autores a lo largo de los años (Galán et al., 1995; Jato et al., 2006). Este parámetro mostró coeficientes positivos con la mitad de los tipos polínicos analizados (*Acer*, Amaranthaceae, Ericaceae, *Olea*, *Pinus*, *Plantago*, Poaceae, *Quercus* y Urticaceae), siendo negativos para *Alnus*, Cupressaceae, *Fraxinus*, *Platanus* y *Salix*. En los casos de *Betula*, Papaveraceae, *Populus* y *Rumex* no se obtuvieron coeficientes significativos de ningún signo. Aquellos tipos cuya correlación fue de signo negativo, coincide con los mismos que también obtuvieron un coeficiente negativo con la temperatura, por lo que los motivos posiblemente sean los mismos (especies invernales o de inicio de primavera que disminuyen sus concentraciones a medida que aumentan las horas de luz). Respecto a Ericaceae, a pesar de tener una correlación de signo negativo con la temperatura, las horas de luz tuvieron una influencia positiva y significativa, contrariamente a otros estudios que involucran este tipo de polen (Rodríguez Rajo et al., 2005). Mientras que en el anterior estudio los máximos se establecen durante abril, en Salamanca las concentraciones máximas se registraron en mayo, motivo por el cual se obtuvo correlación positiva con este parámetro al ir aumentando las concentraciones de Ericaceae con el incremento paulatino en las horas de luz. Respecto a *Pinus*, la ausencia de una correlación con la temperatura a pesar de estarlo con la insolación, ha sido puesta de manifiesto por otros autores (Rodríguez

Rajo et al., 2003b), donde dichos resultados los asocian a la distribución primaveral y los cambios que se producen en las temperaturas durante esta estación.

Precipitación y humedad relativa

De manera general, las precipitaciones obtuvieron unos valores de correlación negativos para todos los tipos de polen estudiados excepto para *Fraxinus*, lo cual pudo estar condicionado por las lluvias ocurridas durante febrero de 2014. Esta influencia negativa de las lluvias sobre las partículas aerobiológicas se corresponde al llamado efecto barrido o efecto lavado. Esto ha sido reportado por varios autores (Mc Donald, 1962; Magyar et al., 2009; Artaç et al., 2014) ya que la lluvia, ejerce un efecto barrido, depositando los granos de polen presentes en la atmósfera. Durante 2014, dicho efecto no fue tan acusado ya que por un lado las precipitaciones se sucedieron en baja cantidad a lo largo de los días en abril y durante mayo se registraron en la última semana del mes. Relacionado con este proceso de barrido de las partículas aerobiológicas, Norris Hill & Emberlin (1993), constataron que las partículas de mayor tamaño como los granos de Poaceae se depositan antes, mientras que granos más pequeños (como los de Urticaceae), se encuentran en mayor concentración durante las precipitaciones. En la figura 4.18, podemos observar este fenómeno ya que los granos de polen de Poaceae registraron un descenso en 2014, al coincidir las lluvias del mes de mayo con la disminución de este tipo polínico, desde el 19 al 23 de mayo, momento en el que vuelven a incrementarse las concentraciones hasta las siguientes lluvias detectadas en junio, en torno al día 23.

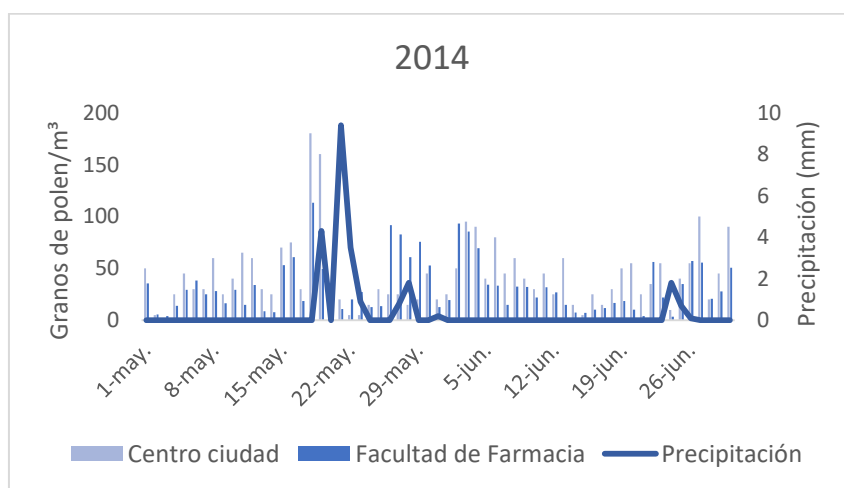


Figura 4. 18. Distribución de los granos de polen de Poaceae e influencia de las precipitaciones durante 2014.

Este comportamiento se observa más claramente durante 2015 (fig. 4.19) cuando las lluvias están presentes en los primeros 15 días de junio, lo que ocasiona un descenso de las concentraciones, y un último día de lluvia, el 23, que coincide con las fechas de valores mínimos de Poaceae registrados desde abril y alcanzando de nuevo un pico posterior, en la primera semana de julio.

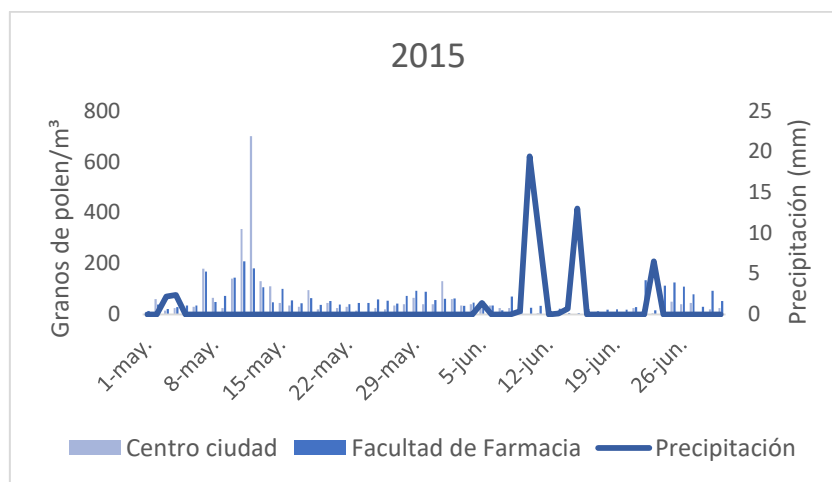


Figura 4. 19. Distribución de los granos de polen de Poaceae e influencia de las precipitaciones durante 2015.

La humedad relativa, se encuentra muy relacionada con las precipitaciones debido a que, al sucederse las lluvias, se incrementan los niveles de humedad en la atmósfera. Si bien, en la mayoría de tipos estudiados este parámetro obtuvo una correlación de signo negativo, en los géneros *Alnus*, *Cupressaceae*, *Fraxinus* y *Platanus* fue de signo positivo. En *Fraxinus* se ha relacionado la humedad con su producción polínica (Candau et al., 1994), coincidiendo así con nuestros resultados. Por otro lado debido a que las fechas en las que estos cuatro tipos están presentes en mayor concentración, coincide con los periodos en los que se suceden lluvias abundantes, al aumentar la humedad relativa con niveles altos de estos granos de polen, la correlación obtiene coeficientes de signo positivo.

Vientos

Como se comentó anteriormente, este parámetro está compuesto por dos componentes que son la velocidad y la dirección. Por un lado, la velocidad ha demostrado tener una influencia negativa sobre las concentraciones polínicas de la atmósfera (Bricchi et al., 1992), tanto si la velocidad es baja (no favorecería el movimiento de las anteras y por ende la liberación del polen), como si es elevada (ya que se producirían dispersiones). Nuestros resultados obtuvieron coeficientes de signo positivo en la casi totalidad de tipos de polen estudiados, a excepción de aquellos que no alcanzaron un nivel de significación. Es notable remarcar que los tres tipos más abundantes de polen en la atmósfera (*Quercus*, *Pinus*, *Poaceae*), obtuvieron dicha correlación positiva, lo cual

pudo ser debido a que por su elevado número de granos de polen emitido (Tormo Molina et al., 1996) y al aumentar la velocidad del viento, la atmósfera se ve enriquecida de dichos granos de polen. Por otro lado, los fenómenos de resuspensión, pueden volver a poner en el aire grandes cantidades de polen depositadas en el suelo (Marini et al., 2015) y el tráfico puede generar turbulencias que resuspendan también granos de polen. La única relación negativa obtenida se observó en el caso de *Betula*. Como se ha puesto de manifiesto en varios trabajos (Hicks et al., 1994; Yli Panula et al., 2009), *Betula* necesita de las turbulencias y el viento para su dispersión, mientras que en el caso de Salamanca, la correlación fue positiva para la frecuencia de calmas. Por último señalar que *Pinus* al poseer adaptaciones para su dispersión por el aire (Schwendemann et al., 2007), la correlación con la velocidad del viento fue de signo positivo.

Respecto a la dirección, hay que señalar que los vientos que mayor influencia tuvieron sobre las partículas polínicas analizadas fueron aquellos del IV cuadrante, especialmente para los tipos herbáceos (Amaranthaceae, Papaveraceae, *Plantago*, Poaceae y *Urtica*). Este hecho coincide con la situación de una formación vegetales importantes de la provincia como es la zona de las Arribes del Duero. En el caso de Cupressaceae, los vientos del I y II cuadrante obtuvieron coeficientes positivos aunque de bajo valor, quizá motivado por su uso como ornamental en el entorno urbano.

Betula también tuvo una correlación positiva con los vientos del II cuadrante posiblemente relacionado con la situación de la Sierra de Béjar donde existen formaciones vegetales con representantes de este género (Abel Schaad et al., 2009). Respecto a *Quercus*, la correlación se mostró positiva con los vientos del IV cuadrante, coincidiendo además en esa dirección parte de las grandes dehesas donde esta especie abunda (Silva Pérez y Fernández Salinas, 2015).

Es interesante señalar que tanto *Populus* como *Rumex* y *Salix* no obtuvieron significación en ninguna de las cuatro direcciones del viento. Este hecho puede estar debido a la localización del captador, muy próxima a la fuente de origen de estos granos de polen. Al estar situado prácticamente al lado del origen, las partículas polínicas llegaron al captador independientemente de la dirección del viento, como pudo suceder en el caso de Cupressaceae.

COMPARATIVA ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO

En este punto final de la discusión se aportan de forma breve algunas consideraciones generales englobando los dos artículos complementarios al estudio del aerosol atmosférico de la ciudad de Salamanca. Al tratarse de un artículo publicado, por un lado y otro enviado a la revista *Aerobiología* (en espera de revisión), los resultados de ambos manuscritos se discutieron de forma más concreta y profunda en los correspondientes apartados (ver discusiones: Artículo II, páginas 155-159; Artículo III, páginas 252-260).

Estos estudios comparativos son posibles gracias al establecimiento de un protocolo creado por Galán y colaboradores (2014), donde se recogen una serie de requerimientos mínimos que permiten comparar datos entre lugares diferentes gracias a un método estandarizado. De esta manera, las cuestiones relativas a la situación de los captadores, flujo de aire, conteo de muestras (porcentaje de la superficie examinada, dirección de barridos), entre otras, pueden ser llevadas a cabo por diferentes investigadores o redes, permitiendo la obtención de datos de forma estandarizada y así poder realizar comparativas entre estaciones, ciudades o países. Esto permitió la colaboración con el Servicio de Inmunoalergias del Hospital Universitario de Salamanca, al poder disponer de los datos obtenidos por dicho Servicio y que son publicados en el portal de la SEAIC, así como poder solicitar las muestras preparadas de años anteriores y proceder a la lectura de las mismas que habían sido obtenidas con el aparato de su propiedad, como fue el caso de las esporas de *Alternaria*. El hecho de que las muestras fueran obtenidas con captadores de modelos diferentes (Lanzoni y Burkard), no supuso un obstáculo debido a que ambos dispositivos trabajan bajo el mismo principio que desarrolló Hirst (1952) y al hecho de que varios autores los utilizan de manera conjunta en diversas investigaciones (Kruczek, 2014; Galusza et al., 2018).

Por un lado, gracias al test de Spearman, podemos confirmar una correlación positiva y significativa, al enfrentar los datos de ambas estaciones, siendo más altos en aquellos tipos más abundantes en el aire, como el caso de *Olea*, *Platanus* y *Poaceae* y más altos todavía en el caso de *Alternaria*. Por otro lado, estos estudios permiten conocer la distribución y la presencia de las diferentes partículas aerobiológicas en zonas diferentes de la ciudad y así poder informar sobre las concentraciones y épocas en las que determinadas partículas están presentes en dichas área suponiendo un potencial factor de riesgo para la población alérgica (Velasco Jiménez et al., 2013). Gracias a los resultados obtenidos podemos observar diferencias a dos niveles: atendiendo a la distribución de granos de polen y *Alternaria* en función de las dos zonas bajo estudio y por otro lado, en función de los años de muestreo, que arrojan diferencias en la correlación, dependiendo de las cantidades totales que se producen anualmente o la influencia que los parámetros meteorológicos tienen sobre las partículas aerovagantes, como se mencionó con anterioridad.

La distribución de los granos de polen mostraron un patrón, siendo más probable la influencia en los procesos alérgicos de los granos de polen de *Olea* y *Platanus*, en el centro ciudad, mientras que los tipos herbáceos como *Amaranthaceae*, *Poaceae* y *Urticaceae*, tienen una mayor posibilidad de influir en la población de la periferia. Pero hemos de tener en cuenta que, aunque la distribución de especies ornamentales determina una mayor presencia de los tipos polínicos *Olea* y *Platanus* en el centro ciudad (Alcázar et al., 2011; Maya Manzano et al., 2017; Charalampopoulos et al., 2018), existen otras fuentes de emisión lejanas, como los cultivos de olivo de Extremadura que también pueden contribuir a la presencia de este tipo polen en la ciudad, aunque en menor concentración. Respecto a los tipos herbáceos, estos crecen fácilmente en jardines y campos cercanos a la periferia, además de en la ribera del Tormes donde las condiciones hacen posible el crecimiento de *Chenopodium*, *Rumex*, *Urticaceae* y sobre todo gramíneas (Kruczek et al., 2017).

Respecto a *Alternaria*, no pudimos identificar un patrón definido, ya que la espora parece estar presente por toda la ciudad, obteniendo unas graficas de distribución estacional muy similares en la zona centro respecto a la periferia, aunque siendo más abundantes las concentraciones en esta última zona, muy probablemente arrastradas por el aire desde zonas donde es más frecuente encontrarla y su desarrollo se ve propiciado (Kasprzyk & Worek, 2006; Lin et al., 2018). Sin embargo, gracias al conocimiento que tenemos sobre esta espora, acumulado tras años de datos recogidos por diferentes zonas del mundo (Skjøth et al., 2016), podemos apreciar que ya que es una espora estival y sobre todo muy ligada a los periodos de cosecha (Sánchez Reyes et al., 2016), su mayor influencia se localiza durante los meses de verano (junio-julio) aunque como se ha visto en el capítulo II y corroborado por otras investigaciones (Marchesi, 2019), puede extenderse su presencia hasta septiembre. Si bien, el calendario esporal nos muestra una presencia de *Alternaria* a lo largo de todo el año. Esto probablemente sea debido al papel de la espora en fenómenos de descomposición de materia (Erkara et al., 2008), lo que la hace susceptible de estar en el aire incluso en fechas como octubre y noviembre.

➤ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abel Schaad, D., Hernández Carretero, A. M., López Sáez, J. A., Pulido Díaz, F. J., López Merino, L. & Martínez Cortizas, A. (2009). Evolución de la vegetación en la Sierra de Gata (Cáceres-Salamanca, España) durante el Holoceno reciente. Implicaciones biogeográficas. *Revista Española de Micropaleontología*, 41, 91-105.
- Aboulaich, N., Achmakh, L., Bouziane, H., Trigo, M. M., Recio, M., Kadiri, M., Cabezudo, B., Hassane, R. & Kazzaz, M. (2013). Effect of meteorological parameters on Poaceae pollen in the atmosphere of Tetouan (NW Morocco). *International Journal of Biometeorology*, 57, 197-205.
- Aira, M. J., Chávez, M. A., Fernández González, M. & Rodríguez Rajo, F. J. (2018). Pollen diversity in the atmosphere of Havana, Cuba. *Aerobiologia*, 34, 389-403.
- Aira, M. J., La Serna, I. & Dopazo, A. (2003). Identification of fungal spores in the atmosphere of Santiago de Compostela (NW Spain) in the winter period. *Polen*, 12, 65-76.
- Aira, M. J., Rodríguez Rajo, F. J., Castro, M. & Jato, V. (2009). Characterization of *Coprinus* spores in the NW of the Iberian Peninsula. Identification and count in aerobiological samples. *Cryptogamie*, 30, 57.
- Akgül, H., Yılmazkaya, D., Akata, I., Tosunoğlu, A. & Bıçakçı, A. (2016). Determination of airborne fungal spores of Gaziantep (SE Turkey). *Aerobiologia*, 32, 441-452.
- Alcázar, P., Cariñanos, P., De Castro, C., Guerra, F., Moreno, C., Domínguez Vilches, E. & Galán, C. (2004). Airborne planetree (*Platanus hispanica*) pollen distribution in the city of Cordoba, South-western Spain, and possible implications on pollen allergy. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 14, 238-243.
- Alcázar, P., García Mozo, H., Trigo, M. M., Ruiz, L., González Minero, F. J., Hidalgo, P., Díaz de la Guardia, C. & Galán, C. (2011). *Platanus* pollen season in Andalusia (southern Spain): trends and modeling. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 2502-2510.
- Almaguer, M., Aira, M. J., Rodríguez Rajo, F. J., Fernández González, M. & Rojas Flores, T. I. (2015). Thirty-four identifiable airborne fungal spores in Havana, Cuba. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2, 215-220.
- Almaguer, M., Aira, M. J., Rodríguez Rajo, F. J. & Rojas, T. I. (2014). Temporal dynamics of airborne fungi in Havana (Cuba) during dry and rainy seasons: influence of meteorological parameters. *International Journal of Biometeorology*, 58, 1459-1470.
- Almaguer, M., Díaz, L., Fernández González, M. & Valdéz E. (2020). Allergenic fungal spores and hyphal fragments in the aerosol of Havana, Cuba. *Aerobiologia*, 36, 441-448.

- Almaguer, M., Rojas, T. I., Pérez, D. & Espinosa, K. C. S. (2018). Aerobiología de *Ganoderma* en la atmósfera de La Habana, Cuba, durante cuatro años de estudio. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 70, 1-15.
- Almaguer, M., Rojas, T. I., Rodríguez Rajo, F. J. & Aira, M. J. (2014). Airborne basidiospores of *Coprinus* and *Ganoderma* in a Caribbean region. *Aerobiologia*, 30, 197-204.
- Almeida, E., Caeiro, E., Todo Bom, A., Ferro, R., Dionísio, A., Duarte, A. & Gazarini, L. (2018). The influence of meteorological parameters on *Alternaria* and *Cladosporium* fungal spore concentrations in Beja (southern Portugal): Preliminary results. *Aerobiologia*, 34, 219-226.
- Anero Bartolomé, M. T., Carabias Martín, F., Carretero Anibarro, P., Cerdón Marcos, C., Cuesta Herranz, C., De Castro Alfageme, S., De Miguel de Pedro, R., De Zafra Cañas, M. L., Feo Martínez, M. C., Fernández González, D., Fuertes Rodríguez, C. R., Gangoso Ares, M. J., García Casares, R., García Herrero, I., González Parrado, Z., Miguélez Pérez, C., Nohales Escribano, M. I., Pardo Criado, P., Ramos Amador, C., Sánchez Lozano, M. T., Sánchez Reyes, E., Valencia Barreda, R. M., Varela Cerviño, P., Vega Maray, A. M. & Villanueva Estebánez, J. M. (2008). *Aerobiología y polinosis en Castilla y León*. Junta de Castilla y León, 120 pp.
- Armentia, A., Martín Armentia, S., Moral, A., Montejo, D., Martín Armentia, B., Sastre, R., Fernández, S., Corell, A. & Fernández, D. (2019). Molecular study of hypersensitivity to spores in adults and children from Castile & Leon. *Allergologia et Immunopathologia*, 47, 350-356.
- Artaç, H., Kizilpınar Temizer, I., Özdemir, H., Pekcan, S., Doğan, C. & Reisli, I. (2014). *Alternaria* and *Cladosporium* spores in the atmosphere of Konya and their relationship with meteorological factors. *Asthma, Allergy & Immunology*, 12, 130-139.
- Ataygul, E., Celenk, S., Canitez, Y., Bicakci, A., Malyer, H. & Sapan, N. (2007). Allergenic fungal spore concentrations in the atmosphere of Bursa, Turkey. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 1, 73-79.
- Bardei, F., Bouziane, H., Trigo, M. M., Ajouray, N., El Haskouri, F. & Kadiri, M. (2017). Atmospheric concentrations and intradiurnal pattern of *Alternaria* and *Cladosporium* conidia in Tétouan (NW of Morocco). *Aerobiologia*, 33, 221-228.
- Bardei, F., Bouziane, H., Trigo, M. M., Ajouray, N., El Haskouri, F., Sidel, F. F. B., Abiri, R., Kadiri, M., Kazzaz, M. & Riadi, H. (2013). Incidence of fungal spores in the atmosphere of Tetouan (NW Morocco) and the effect of meteorological parameters. *Revue Française d'Allergologie*, 53, 576-584.

- Barnes, C., Pacheco, F., Landuyt, J., Hu, F. & Portnoy, J. (2001). The effect of temperature, relative humidity and rainfall on airborne ragweed pollen concentrations. *Aerobiologia*, 17, 61-68.
- Bartra, J., Belmonte, J., Torres Rodríguez, J. M. & Cistero Bahima, A. (2009). Sensitization to *Alternaria* in patients with respiratory allergy. *Frontiers in Bioscience*, 14, 3372-3379.
- Bhati, H. S. & Gaur, R. D. (1979). Studies on Aerobiology - Atmospheric fungal spores. *New Phytologist*, 82, 519-527.
- 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. *Atmospheric Environment*, 182, 179-192.
- Bricchi, E., Fornaciari, M., Giannoni, C., Greco, F., Fascini, G., Frenguelli, G., Mincigrucci, G. & Romano, B. (1992). Fluctuations of grass pollen content in the atmosphere of East Perugia and meteorological correlations (year 1989). *Aerobiologia*, 8, 401-406.
- Bush, R. K. (1989). Aerobiology of pollen and fungal allergens. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 84, 1120-1124.
- Camacho, I., Góis, A., Camacho, R. & Nóbrega, V. (2018). The impact of urban and forest fires on the airborne fungal spore aerobiology. *Aerobiologia*, 34, 585-592.
- Candau, P., González Minero, F. & Romero, F. (1994). Aeropalynology of *Fraxinus* (Ash) in an urban area of southwestern Spain. *Aerobiologia*, 10, 47-51.
- Cariñanos, P., Alcázar, P., Galán, C. & Domínguez, E. (2014). Environmental behaviour of airborne Amaranthaceae pollen in the southern part of the Iberian Peninsula, and its role in future climate scenarios. *Science of the Total Environment*, 470, 480-487.
- Cariñanos, P. & Casares Porcel, M. (2011). Urban green zones and related pollen allergy: a review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. *Landscape and Urban Planning*, 101, 205-214.
- Cariñanos, P., Casares Porcel, M., Díaz de la Guardia, C., Aira, M. J., Belmonte, J., Boi, M., Elvira Rendueles, B., De Linares, C., Fernández Rodríguez, S., Maya Manzano, J. M., Pérez Badia, R., Rodríguez de la Cruz, D., Rodríguez Rajo, F. J., Rojo Úbeda, J., Romero Zarco, C., Sánchez Reyes, E., Sánchez, J., Tormo Molina, R. & Vega Maray, A. M. (2017). Assessing allergenicity in urban parks: a nature-based solution to reduce the impact on public health. *Environmental Research*, 155, 219-227.

- Celenk, S. & Bicakci, A. (2005). Aerobiological investigation in Bitlis, Turkey. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 12, 87-93.
- Cepeda, R., Luque, L., Ramirez, D., Franco, P. & Fabra, M. (2019). Monitoreo de hongos ambientales en laboratorios y reservas patrimoniales bioarqueológicas. *Boletín Micológico*, 34, 33-49.
- Charalampopoulos, A., Lazarina, M., Tsiripidis, I. & Vokou, D. (2018). Quantifying the relationship between airborne pollen and vegetation in the urban environment. *Aerobiologia*, 34, 285–300.
- Corden, J.M. & Millington, M. (1999). A study of *Quercus* pollen in the Derby area, UK. *Aerobiologia*, 15, 29-37.
- 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, 976-990.
- Damialis, A., Charalampopoulos, A., Lazarina, M., Diamanti, E., Almpnidou, V., Maraidoni, A. M., Symeonidou, A., Staikidou, E., Syropoulou, E., Leontidou, K., Tsiripidis, I., Halley, J. M. & Vokou, D. (2020). Plant flowering mirrored in airborne pollen seasons? Evidence from phenological observations in 14 woody taxa. *Atmospheric Environment*, 240, 117708.
- Dey, D., Ghosal, K. & Bhattacharya, S. G. (2019). Aerial fungal spectrum of Kolkata, India, along with their allergenic impact on the public health: a quantitative and qualitative evaluation. *Aerobiologia*, 35, 15-25.
- Díez Herrero, A., Sabariego Ruiz, S., Gutiérrez Bustillo, M. & Cervigón Morales, P. (2006). Study of airborne fungal spores in Madrid, Spain. *Aerobiologia*, 22, 135-142.
- Dimou, M. (2012). Comparison of phenological, aerobiological and melissopalynological patterns of *Olea europaea*. *Apidologie*, 43, 103-112.
- Docampo, S., Trigo, M. M., Recio, M., Melgar, M., Garcia Sánchez, J., Calderon Ezquerro, M. C. & Cabezudo, B. (2010). High incidence of *Aspergillus* and *Penicillium* spores in the atmosphere of the cave of Nerja (Malaga, southern Spain). *Aerobiologia*, 26, 89-98.
- Eduard, W. (2009). Fungal spores: a critical review of the toxicological and epidemiological evidence as a basis for occupational exposure limit setting. *Critical Reviews in Toxicology*, 39, 799-864.

- Elbert, W., Taylor, P. E., Andreae, M. O. & Pöschl, U. (2007). Contribution of fungi to primary biogenic aerosols in the atmosphere: wet and dry discharged spores, carbohydrates, and inorganic ions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 4569-4588.
- Erkara, I.P. (2008). Concentrations of airborne pollen grains in Sivrihisar (Eskisehir), Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 138, 81-91.
- Erkara, I. P., Asan, A., Yilmaz, V., Pehlivan, S. & Okten, S. S. (2008). Airborne *Alternaria* and *Cladosporium* species and relationship with meteorological conditions in Eskisehir City, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 31-41.
- Fernández Martínez, M., Belmonte, J. & Espelta, J. M. (2012). Masting in oaks: disentangling the effect of flowering phenology, airborne pollen load and drought. *Acta Oecologica*, 43, 51-59.
- Fernández, D., Valencia, R. M., Molnár, T., Vega, A. & Sagüés, E. (1998). Daily and seasonal variations of *Alternaria* and *Cladosporium* airborne spores in León (North-West, Spain). *Aerobiologia*, 14, 215–220.
- Fountain, D. W. & Cornford, C. A. (1991). Aerobiology and allergenicity of *Pinus radiata* pollen in New Zealand. *Grana*, 30, 71–75.
- Frenguelli, G., Spieksma, F. T. M., Bricchi, E., Romano, B., Mincigrucci, G., Nikkels, A. H., Dankkaart, W. & Ferranti, F. (1991). The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana*, 30, 196-200.
- Fuentes, S., Rodríguez de la Cruz, D., García Sánchez A., Dávila, I., Sánchez Sánchez, J. & Sánchez Reyes, E. (2020). Urban atmospheric levels of allergenic pollen: comparison of two locations in Salamanca, central-western Spain. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 414-414.
- Fuertes Rodríguez, C. R., Gonzales Parrado, Z., Vega Maray, A. M., Valencia Barrera, R. M. & Fernández Gonzalez, D. (2007). Effect of air temperature on forecasting the start of Cupressaceae pollen type in Ponferrada [León, Spain]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14, 237-242.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2007). Spanish aerobiology network (REA: Management and quality manual. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba 2007. www.uco.es/rea/infor_rea/manual_eng.pdf.
- Galán, C., Emberlin, J., Domínguez, E., Bryant, R. H. & Villamandos, F. (1995). A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana*, 34, 189-198.

- Galán, C., García Mozo, H., Cariñanos, P., Alcázar, P. & Domínguez Vilches, E. (2001). The role of temperature in the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in southwestern Spain. *International Journal of Biometeorology*, 45, 8-12.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., Berger, U., Clot, B., Brandao, R. & EAS QC Working Group (2014). Pollen monitoring: Minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*, 30, 385-395.
- Galán, C., Vázquez, L., García Mozo, H. & Domínguez, E. (2004). Forecasting olive (*Olea europaea*) crop yield based on pollen emission. *Field Crops Research*, 86, 43-51.
- Gałusza, B., Lipiec, A., Puc, M., Stacewicz, A., Siergiejko, Z., Rapiejko, A., Tywoniuk, K., Szczygielski, K., Jurkiewicz, D., Siergiejko, G., Świebocka, E. M. & Rapiejko, P. (2018). Pollen of plane in the air of selected cities of Poland in 2018. *Alergoprofil*, 14, 101-104.
- García Mozo, H., Domínguez Vilches, E. & Galán, C. (2007). Airborne allergenic pollen in natural areas: Hornachuelos Natural Park, Cordoba, southern Spain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14, 63-69.
- García-Mozo, H., Pérez-Badía, R. & Galán, C. (2008). Aerobiological and meteorological factors' influence on olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha (central Spain). *Aerobiologia*, 24, 13-18.
- Garrido, A., Fernández González, M., Álvarez López, S., González Fernández, E. & Rodríguez Rajo, F. J. (2020). First phenological and aerobiological assessment of olive orchards at the northern limit of the Mediterranean bioclimatic area. *Aerobiologia*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10453-020-09659-3>.
- Giner, M. M., Garcia, J. C. & Sellés, J. G. (1998). Incidence of *Alternaria* spores in the atmosphere of Murcia (SE Spain). Seasonal, monthly and intradiurnal variations. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 8, 304-308.
- Gioulekas, D., Balafoutis, C., Damialis, A., Papakosta, D., Gioulekas, G. & Patakas, D. (2004). Fifteen years' record of airborne allergenic pollen and meteorological parameters in Thessaloniki, Greece. *International Journal of Biometeorology*, 48, 128-136.
- Gomes, C., Ribeiro, H. & Abreu, I. (2019). Aerobiology of cupressaceae in Porto city, Portugal. *Aerobiologia*, 35, 97-103.
- Gonianakis, M., Neonakis, I., Darivianaki, E., Gonianakis, I., Bouros, D. & Kontou-Fili, K. (2005). Airborne Ascomycotina on the island of Crete: seasonal patterns based on an 8-year volumetric survey. *Aerobiologia*, 21, 69-74.

- González Parrado, Z., Fernández González, D., Vega Maray, A. M. & Valencia Barrera, R. M. (2015). Relationship between flowering phenology, pollen production and atmospheric pollen concentration of *Plantago lanceolata* (L.). *Aerobiologia*, 31, 481-498.
- Grinn Gofroń, A. (2008). The variation in spore concentrations of selected fungal taxa associated with weather conditions in Szczecin, Poland, 2004-2006. *Grana*, 47, 139-146.
- Grinn Gofroń, A. & Bosiacka, B. (2015). Effects of meteorological factors on the composition of selected fungal spores in the air. *Aerobiologia*, 31, 63-72.
- Grinn Gofroń, A., Bosiacka, B., Bednarz, A. & Wolski, T. (2018). A comparative study of hourly and daily relationships between selected meteorological parameters and airborne fungal spore composition. *Aerobiologia*, 34, 45-54.
- Grinn Gofroń, A., Çeter, T., Münevver Pinar, N., Bosiacka, B., Çeter, S., Keçeli, T., Myśliwy, M., Acar Şahin, A. & Bogawski, P. (2020). Airborne fungal spore load and season timing in the central and eastern Black Sea region of Turkey explained by climate conditions and land use. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 108191.
- Grinn Gofroń, A. & Strzelczak, A. (2011). The effects of meteorological factors on the occurrence of *Ganoderma* sp. spores in the air. *International Journal of Biometeorology*, 55, 235-241.
- Grinn Gofroń, A., Strzelczak, A., Stępańska, D. & Myszowska, D. (2016). A 10-year study of *Alternaria* and *Cladosporium* in two Polish cities (Szczecin and Cracow) and relationship with the meteorological parameters. *Aerobiologia*, 32, 83-94.
- Hamda, S. H., Dhiab, A. B., Galán, C. & Msallem, M. (2017). Pollen spectrum in northern Tunis, Tunisia. *Aerobiologia*, 33, 243-251.
- Hasnain, S. M., Akhter, T. & Waqar, M. A. (2012). Airborne and allergenic fungal spores of the Karachi environment and their correlation with meteorological factors. *Journal of Environmental Monitoring*, 14, 1006-1013.
- Hernández Trejo, F., Muñoz Rodríguez, A. F., Tormo Molina, R. & Silva Palacios, I. (2013). Airborne spores of basidiomycetes in Mérida (SW Spain). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 20, 657-663.
- Herrero, B., Fombella Blanco, M. A., Fernández González, D. & Valencia Barrera, R. M. (1996). The role of meteorological factors in determining the annual variation of *Alternaria* and *Cladosporium* spores in the atmosphere of Palencia, 1990–1992. *International Journal of Biometeorology*, 39, 139-142.

- Hicks, S., Helander, M. & Heino, S. (1994). Birch pollen production, transport and deposition for the period 1984-1993 at Kevo, northernmost Finland. *Aerobiologia*, 10, 183-191.
- Hirst, J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39, 257-265.
- Hjelmroos, M. (1993). Relationship between airborne fungal spore presence and weather variables: *Cladosporium* and *Alternaria*. *Grana*, 32, 40-47.
- Ho, H. M., Rao, C. Y., Hsu, H. H., Chiu, Y. H., Liu, C. M. & Chao, H. J. (2005). Characteristics and determinants of ambient fungal spores in Hualien, Taiwan. *Atmospheric Environment*, 39, 5839-5850.
- Ianovici, N. (2016). Atmospheric concentrations of selected allergenic fungal spores in relation to some meteorological factors, in Timișoara (Romania). *Aerobiologia*, 32, 139-156.
- Ianovici, N., Panaitescu, C. B. & Brudiu, I. (2013). Analysis of airborne allergenic pollen spectrum for 2009 in Timișoara, Romania. *Aerobiologia*, 29, 95-111.
- Iglesias, I., Méndez, J. & Comtois, P. (2003). Aerobiological survey of *Alnus* pollen in Ourense (NW Iberian Peninsula), 1993–2000. *Grana*, 42, 112-120.
- Iglesias, I., Rodríguez Rajo, F. J. & Méndez, J. (2007). Behavior of *Platanus hispanica* pollen, an important spring aeroallergen in northwestern Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 17, 145-156.
- Irga, P. J. & Torpy, F. R. (2016). A survey of the aeromycota of Sydney and its correspondence with environmental conditions: grass as a component of urban forestry could be a major determinant. *Aerobiologia*, 32, 171-185.
- Jato, V., Dopazo, A. & Aira, M. J. (2002). Influence of precipitation and temperature on airborne pollen concentration in Santiago de Compostela (Spain). *Grana*, 41, 232-241.
- Jato, V., Rodríguez Rajo, F. J., Alcázar, P., De Nuntis, P., Galán, C. & Mandrioli, P. (2006). May the definition of pollen season influence aerobiological results?. *Aerobiologia*, 22, 13-25.
- Jato, V., Rodríguez Rajo, F. J., Dacosta, N. & Aira, M. J. (2004). Heat and chill requirements of *Fraxinus* flowering in Galicia (NW Spain). *Grana*, 43, 217-223.
- Kasprzyk, I. (2006). Comparative study of seasonal and intradiurnal variation of airborne herbaceous pollen in urban and rural areas. *Aerobiologia*, 22, 185-195.
- Kasprzyk, I. (2008). Aeromycology—main research fields of interest during the last 25 years. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 15, 1-7.

- Kasprzyk, I., Kaszewski, B. M., Weryszko Chmielewska, E., Nowak, M., Sulborska, A., Kaczmarek, J., Szymanska, A., Haratym, W. & Jedryczka, M. (2016). Warm and dry weather accelerates and elongates *Cladosporium* spore seasons in Poland. *Aerobiologia*, 32, 109-126.
- Kasprzyk, I., Sulborska, A., Nowak, M., Szymańska, A., Kaczmarek, J., Haratym, W., Weryszko Chmielewska, E. & Jedryczka, M. (2013). Fluctuation range of the concentration of airborne *Alternaria* conidiospores sampled at different geographical locations in Poland (2010-2011). *Acta Agrobotanica*, 66, 65-76.
- Kasprzyk, I. & Worek, M. (2006). Airborne fungal spores in urban and rural environments in Poland. *Aerobiologia*, 22, 169-176.
- Kramer, C.L. & Eversmeyer, M.G. (1984). Comparison of airspora concentrations at various sites within a ten kilometre radius of Manhattan, Kansas, USA. *Grana*, 23, 117-122.
- Kruczek, A. (2014). Mycological analysis of air in selected rooms of the University of Szczecin- A pilot project. *Acta Agrobotanica*, 67, 51-56.
- Kruczek, A., Puc, M. & Wolski, T. (2017). Airborne pollen from allergenic herbaceous plants in urban and rural areas of western Pomerania, NW Poland. *Grana*, 56, 71-80.
- Kunjam, S. & Jadhav, S. (2017). Airborne *Penicillium* in the atmosphere of Panabaras, Rajnandgaon district. *Indian Journal of Scientific Research*, 13, 29-33.
- Kurkela, T. (1997). The number of *Cladosporium* conidia in the air in different weather conditions. *Grana*, 36, 54-61.
- Liang, L., Engling, G., Du, Z., Duan, F., Cheng, Y., Liu, X. & He, K. (2017). Contribution of fungal spores to organic carbon in ambient aerosols in Beijing, China. *Atmospheric Pollution Research*, 8, 351-358.
- Lin, W. R., Wang, P. H., Tien, C. J., Chen, W. Y., Yu, Y. A. & Hsu, L. Y. (2018). Changes in airborne fungal flora along an urban to rural gradient. *Journal of Aerosol Science*, 116, 116-123.
- Loeffert, S. T., Vanhems, P., Tissot, E., Dananché, C., Cassier, P., Bénét, T., Perraud, M., Thibaudon, M. & Gustin, M. P. (2018). Evaluation of Hirst-type spore traps in outdoor *Aspergillaceae* monitoring during large demolition work in hospital. *PloS one*, 13, e0191135.
- Luis Calabuig, E. & Montserrat, P. (1979). Mapa fitoclimático de la provincia de Salamanca. In *Estudio integrado y multidisciplinario de la dehesa salmantina, estudio fisiográfico-descriptivo, fasc. 3* (pp. 157-181). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España).

- Magyar, D., Barasits, T., Fischl, G. & Fernando, W. G. D. (2006). First report of the natural occurrence of the teleomorph of *Leptosphaeria maculans* on oilseed rape and airborne dispersal of ascospores in Hungary. *Journal of Phytopathology*, 154, 428-431.
- Magyar, D., Frenguelli, G., Bricchi, E., Tedeschini, E., Csontos, P., Li, D. W. & Bobvos, J. (2009). The biodiversity of air spora in an Italian vineyard. *Aerobiologia*, 25, 99-109.
- Majeed, H. T., Periago, C., Alarcón, M. & Belmonte, J. (2018). Airborne pollen parameters and their relationship with meteorological variables in NE Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 34, 375-388.
- Marchesi, S. (2019). *Alternaria* spores in Emilia-Romagna, northern Italy: current diffusion and trends. *Aerobiologia*, 36, 31-36.
- Marini, S., Buonanno, G., Stabile, L. & Avino, P. (2015). A benchmark for numerical scheme validation of airborne particle exposure in street canyons. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 2051-2063.
- Martínez Blanco, X., Tejera, L. & Beri, Á. (2016). First volumetric record of fungal spores in the atmosphere of Montevideo City, Uruguay: a 2-year survey. *Aerobiologia*, 32, 317-333.
- Maya Manzano, J. M., Fernández Rodríguez, S., Monroy Colín, A., Silva Palacios, I., Tormo Molina, R. & Gonzalo Garijo, Á. (2017). Allergenic pollen of ornamental plane trees in a Mediterranean environment and urban planning as a prevention tool. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 352-362.
- Maya Manzano, J. M., Muñoz Triviño, M., Fernández Rodríguez, S., Silva Palacios, I., Gonzalo Garijo, A. & Tormo Molina, R. (2016). Airborne *Alternaria* conidia in Mediterranean rural environments in SW of Iberian Peninsula and weather parameters that influence their seasonality in relation to climate change. *Aerobiologia*, 32, 95-108.
- McDonald, J. E. (1962). Collection and washout of airborne pollens and spores by raindrops. *Science*, 135, 435-437.
- Mehrotra B.S. (1983). The impact of fungal infestation of cereal grains in field and storage. In A. Hussain K. Singh B.P. Singh and V.P. Agnihotri (eds.), *Recent Advances in Plant Pathology*. Print House: Lucknow, India, pp. 185-200.
- Monroy Colín, A., Silva Palacios, I., Tormo Molina, R., Maya Manzano, J. M., Fernández Rodríguez, S. & Gonzalo Garijo, Á. (2018). Environmental analysis of airborne pollen occurrence, pollen source distribution and phenology of *Fraxinus angustifolia*. *Aerobiologia*, 34, 269-283.

- Morales, J., González Minero, F. J., Carrasco, M., Ogalla, V. M. & Candau, P. (2006). Airborne basidiospores in the atmosphere of Seville (South Spain). *Aerobiologia*, 22, 127-134.
- Nitiu, D. S. & Mallo, A. C. (2002). Incidence of allergenic pollen of *Acer* spp., *Fraxinus* spp. and *Platanus* spp. in the city of La Plata, Argentina: preliminary results. *Aerobiologia*, 18, 65-71.
- Njokuocha, R. C., Osayi, E. E. & Ikegbunam, C. N. (2019). Diversity of airborne mycofloral abundance and allergenic fungal spores of Enugu North, Nigeria. *Aerobiologia*, 35, 177-194.
- Norris Hill, J. (1997). The influence of ambient temperature on the abundance of Poaceae pollen. *Aerobiologia*, 13, 91-97.
- Norris Hill, J. & Emberlin, J. (1993). The incidence of increased pollen concentrations during rainfall in the air of London. *Aerobiologia*, 9, 27-32.
- O'Connor, D. J., Sadyś, M., Skjøth, C. A., Healy, D. A., Kennedy, R. & Sodeau, J. R. (2014). Atmospheric concentrations of *Alternaria*, *Cladosporium*, *Ganoderma* and *Didymella* spores monitored in Cork (Ireland) and Worcester (England) during the summer of 2010. *Aerobiologia*, 30, 397-411.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L. & Abreu, I. (2009a). Seasonal and intradiurnal variation of allergenic fungal spores in urban and rural areas of the North of Portugal. *Aerobiologia*, 25, 85-98.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, J. L. & Abreu, I. (2009b). The effects of meteorological factors on airborne fungal spore concentration in two areas differing in urbanisation level. *International Journal of Biometeorology*, 53, 61-73.
- Oliveira, M., Ribeiro, H., Delgado, L., Fonseca, J., Gastel-Branco, M. G. & Abreu, I. (2010). Outdoor allergenic fungal spores: Comparison between an urban and a rural area in Northern Portugal. *Journal of Investigational Allergology & Clinical Immunology*, 20(2), 117.
- Olsen, Y., Begovic, T., Skjøth, C.A., Rasmussen, K., Gosewinkel, U., Hertel, O. & Sigsgaard, T. (2019). Grain harvesting as a local source of *Cladosporium* spp. in Denmark. *Aerobiologia*, 35, 373–378.
- Pace, L., Boccacci, L., Casilli, M. & Fattorini, S. (2019). Temporal variations in the diversity of airborne fungal spores in a Mediterranean high altitude site. *Atmospheric Environment*, 210, 166-170.
- Papadakis, C. E., Kiagiadaki, D. E., Bonatos, S. I., Katotomichelakis, M., Danielides, V. & Proimos, E. K. (2016). Aeroallergens in West Crete, Greece: A five year (2010–2014) aerobiological study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 273, 1943-1949.

- Paulino, R., Tormo, R., Silva, I. & Muñoz, A.F. (2002). Aerobiología en Extremadura: Estación de Cáceres (2000-2001). *Monografías REA*, 7, 177-182.
- Pérez Badia, R., Rapp, A., Morales, C., Sardinero, S., Galán, C. & García-Mozo, H. (2010). Pollen spectrum and risk of pollen allergy in central Spain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 17, 139-151.
- Pérez Badia, R., Rapp, A., Vaquero, C. & Fernández González, F. (2011). Aerobiological study in east-central Iberian Peninsula: pollen diversity and dynamics for major taxa. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 18, 99-111.
- Pérez Gorjón, S., Rodríguez de la Cruz, D., González Suárez, R. & Sánchez, J. (2003). Variación anual de esporas en la atmósfera de Salamanca durante los años 1995 y 2000. *Polen*, 13, 289-297.
- Picornell, A., Recio, M., Trigo, M. M. & Cabezudo, B. (2019). Preliminary study of the atmospheric pollen in Sierra de las Nieves Natural Park (southern Spain). *Aerobiologia*, 35, 571-576.
- Puc, M. (2012). Influence of meteorological parameters and air pollution on hourly fluctuation of birch (*Betula* L.) and ash (*Fraxinus* L.) airborne pollen. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19, 660-665.
- Puljak, T., Mamić, M., Mitić, B., Hrga, I. & Hruševar, D. (2016). First aerobiological study in Mediterranean part of Croatia (Dalmatia): pollen spectrum and seasonal dynamics in the air of Split. *Aerobiologia*, 32, 709-723.
- Pyrri, I. & Kapsanaki Gotsi, E. (2015). Evaluation of the fungal aerosol in Athens, Greece, based on spore analysis. *Aerobiologia*, 31, 179-190.
- Pyrri, I. & Kapsanaki Gotsi, E. (2017). Functional relations of airborne fungi to meteorological and pollution factors in a Mediterranean urban environment. *Fungal Ecology*, 30, 48-54.
- Recio, M., Trigo, M. M., Docampo, S., Melgar, M., García Sánchez, J., Bootello, L. & Cabezudo, B. (2012). Analysis of the predicting variables for daily and weekly fluctuations of two airborne fungal spores: *Alternaria* and *Cladosporium*. *International Journal of Biometeorology*, 56, 983-991.
- Ribeiro, H. & Abreu, I. (2014). A 10-year survey of allergenic airborne pollen in the city of Porto (Portugal). *Aerobiologia*, 30, 333-344.
- Ribeiro, H., Cunha, M. & Abreu, I. (2005). Airborne pollen of *Olea* in five regions of Portugal. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 12, 317-320.

- Ribeiro, H., Oliveira, M. & Abreu, I. (2008). Intradial variation of allergenic pollen in the city of Porto (Portugal). *Aerobiologia*, 24, 173.
- 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, 328-333.
- Rich, S. & Waggoner, P. E. (1962). Atmospheric concentration of *Cladosporium* spores. *Science*, 137, 962-965.
- Rivera Mariani, F. E., Almaguer, M., Aira, M. J. & Bolaños Rosero, B. (2020). Comparison of Atmospheric Fungal Spore Concentrations between Two Main Cities in the Caribbean Basin. *Puerto Rico Health Sciences Journal*, 39, 235-242.
- Rizzi Longo, L., Pizzulin Sauli, M. & Ganis, P. (2005). Aerobiology of Fagaceae pollen in Trieste (NE Italy). *Aerobiologia*, 21, 217-231.
- Rizzi Longo, L., Pizzulin Sauli, M. & Ganis, P. (2009). Seasonal occurrence of *Alternaria* [1993-2004] and *Epicoccum* [1994-2004] spores in Trieste [NE Italy]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16, 63-70.
- Rocha Estrada, A., Alvarado Vázquez, M. A., Gutiérrez Reyes, R., Salcedo Martínez, S. M. & Moreno Limón, S. (2013). Variación temporal de esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Curvularia* y *Venturia* en el aire del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 155-165.
- Rodríguez de la Cruz, D. (2009). *Estudio del contenido polínico en la atmósfera de la ciudad de Salamanca y su relación con los parámetros climatológicos y los cuadros clínicos de alergia* (Tesis Doctoral). Universidad de Salamanca, España.
- Rodríguez de la Cruz, D., Dávila, I., Sánchez, E., Lorente, F. & Sánchez, J. (2016). Comparison of pollen levels between 2 pollen traps in Salamanca, Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 26, 111-143.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2008). Aerobiological study of Fagaceae pollen in the middle-west of Spain. *Aerobiologia*, 24, 67-76.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2010) Aerobiological notes of Amarantaceae-Chenopodiaceae pollen in the Middle-West of Spain. In *Pollen: Structure, Types and Effects* (pp. 341-350). Benjamin J. Kaiser, Nova Science Publishers, Inc.

- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2012). Analysis of Chenopodiaceae-Amaranthaceae airborne pollen in Salamanca, Spain. *Turkish Journal of Botany*, 36, 336-343.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez Reyes, E. & Sánchez Sánchez, J. (2015). A contribution to the knowledge of Cupressaceae airborne pollen in the middle west of Spain. *Aerobiologia*, 31, 435-444.
- Rodríguez Rajo, F. J., Frenguelli, G. & Jato, M. V. (2003a). Effect of air temperature on forecasting the start of the *Betula* pollen season at two contrasting sites in the south of Europe (1995–2001). *International Journal of Biometeorology*, 47, 117-125.
- Rodríguez Rajo, F. J., Jato, V. & Aira, M. J. (2003b). Pollen content in the atmosphere of Lugo (NW Spain) with reference to meteorological factors (1999–2001). *Aerobiologia*, 19, 213-225.
- Rodríguez Rajo, F. J., Méndez, J. & Jato, V. (2005). Airborne Ericaceae pollen grains in the atmosphere of Vigo (Northwest Spain) and its relationship with meteorological factors. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47, 792-800.
- Sabariego, S., Bouso, V. & Pérez Badia, R. (2012). Comparative study of airborne *Alternaria* conidia levels in two cities in Castilla-La Mancha (central Spain), and correlations with weather-related variables. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2, 227–232.
- Sabariego, S., Díez, A. & Gutiérrez, M. (2007). Monitoring of airborne fungi in Madrid (Spain). *Acta Botanica Croatica*, 66, 117-126.
- Sabariego, S., Guardia, C. D. & Alba, F. (2000). The effect of meteorological factor on the daily variation of airborne fungal spores in Granada (southern Spain). *International Journal of Biometeorology*, 44, 1-5.
- Sadyś, M., Kaczmarek, J., Grinn Gofroń, A., Rodinkova, V., Prikhodko, A., Bilous, E., Strzelczak, A., Herbert, R. J. & Jedryczka, M. (2018). Dew point temperature affects ascospore release of allergenic genus *Leptosphaeria*. *International journal of biometeorology*, 62, 979-990.
- Sadyś, M., Kennedy, R. & West, J. S. (2016). Potential impact of climate change on fungal distributions: analysis of 2 years of contrasting weather in the UK. *Aerobiologia*, 32, 127-137.
- Sadyś, M., Skjøth, C. A. & Kennedy, R. (2014). Back-trajectories show export of airborne fungal spores (*Ganoderma* sp.) from forests to agricultural and urban areas in England. *Atmospheric Environment*, 84, 88-99.
- Sadyś, M., Strzelczak, A., Grinn Gofroń, A. & Kennedy, R. (2015). Application of redundancy analysis for aerobiological data. *International Journal of Biometeorology*, 59, 25-36.

Sánchez Reyes, E. (2011). *Estudio aeropalínológico de la ciudad de Valladolid durante los años 2005-2006 y su relación con los cuadros clínicos de alergia* (Tesis Doctoral). Universidad de Salamanca, España.

Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez, J. (2007). Contenido atmosférico de esporas de *Ganoderma* P. Karst. en la atmósfera de Valladolid. *Polen*, 17, 39-49.

Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez Sánchez, J. (2012). Influencia de la temperatura sobre las concentraciones de esporas de *Periconia* s. l. en Valladolid (2005-2007). *Polen*, 22, 9-13.

Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D. & Sánchez Sánchez, J. (2016). First fungal spore calendar of the Middle-West of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 32, 529-539.

Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, M. E. & Sánchez Sánchez, J. (2007). Comportamiento aerobiológico de la familia Ericaceae en la atmósfera de Valladolid (2005-2006). *Studia Botanica*, 26, 77-87.

Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, M. E. & Sánchez, J. (2009a). Meteorological and agricultural effects on airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores and clinical aspects in Valladolid (Spain). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16, 53-61.

Sánchez Reyes, E., Rodríguez de la Cruz, D., Sanchís Merino, M. E. & Sánchez Sánchez, J. (2009b). First results of *Platanus* pollen airborne content in the Middle-West of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 25, 209-215.

Ščevková, J., Dušička, J., Chrenová, J. & Mičieta, K. (2010). Annual pollen spectrum variations in the air of Bratislava (Slovakia): years 2002–2009. *Aerobiologia*, 26, 277-287.

Ščevková, J., Dušička, J. & Mičieta, K. (2015). Aerobiological analysis of airborne pollen and fungal spores fall in Bratislava in 2015. *Acta Botanica Universitatis Comenianae*, 50, 3-8.

Ščevková, J., Dušička, J., Mičieta, K. & Somorčík, J. (2016). The effects of recent changes in air temperature on trends in airborne *Alternaria*, *Epicoccum* and *Stemphylium* spore seasons in Bratislava (Slovakia). *Aerobiologia*, 32, 69-81.

Ščevková, J., Hrabovský, M., Kováč, J. & Rosa, S. (2019). Intradivisional variation of predominant airborne fungal spore biopollutants in the central European urban environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 34603-34612.

Ščevková, J. & Kováč, J. (2019). First fungal spore calendar for the atmosphere of Bratislava, Slovakia. *Aerobiologia*, 35, 343-356.

- Schwendemann, A. B., Wang, G., Mertz, M.L., McWilliams, R.T., Thatcher, S.L. & Osborn, J. M. (2007). Aerodynamics of saccate pollen and its implications for wind pollination. *American Journal of Botany*, 94, 1371-1381.
- Shaheen, I. A. (1992). Aeromycology of Amman area, Jordan. *Grana*, 31, 223-228.
- Sidel, F. F. B. & Bouziane, H. (2017). Fungal Spores of *Cladosporium* in the Air of Tetouan Meteorological parameters and forecast models. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 3, 43-50.
- Silva Pérez, M. R. & Fernández Salinas, V. (2015). Claves para el reconocimiento de la dehesa como "paisaje cultural" de Unesco. *Anales de Geografía*, 35, 121-142.
- Simoleit, A., Werchan, M., Werchan, B., Mücke, H. G., Gauger, U., Zuberbier, T. & Bergmann, K. C. (2017). Birch, grass, and mugwort pollen concentrations and intradiurnal patterns at two different urban sites in Berlin, Germany. *Allergo Journal International*, 26, 155-164.
- Skjøth, C. A., Damialis, A., Belmonte, J., De Linares, C., Fernández Rodríguez, S., Grinn Gofroń, A., Jędrzycka, M., Kasprzyk, I., Magyar, D., Myszkowska, D., Oliver, G., Páldy, A., Pashley, C. H., Rasmussen, K., Satchwell, J., Thibaudon, M., Tormo Molina, R., Vokou, D., Ziemianin, M. & Werner, M. (2016). *Alternaria* spores in the air across Europe: abundance, seasonality and relationships with climate, meteorology and local environment. *Aerobiologia*, 32, 3-22.
- Sousa, L., Camacho, I. C., Grinn Gofroń, A. & Camacho, R. (2016). Monitoring of anamorphic fungal spores in Madeira region (Portugal), 2003-2008. *Aerobiologia*, 32, 303-315.
- Spieksma, F. Th. M., Corden, J.M., Detandt, M., Millington, W.M., Nikkels, H., Nolard, N., Schoenmakers, C.H.H., Wachter, R., de Weger, L.A., Willems, R. & Emberlin, J. (2003). Quantitative trends in annual totals of five common airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, Poaceae, *Urtica* and *Artemisia*), at five pollen-monitoring stations in western Europe. *Aerobiologia*, 19, 171-184.
- Stępalska, D. & Wołek, J. (2005). Variation in fungal spore concentrations of selected taxa associated. *Aerobiologia*, 21, 43-52.
- Stępalska, D. & Wołek, J. (2009). Intradiurnal periodicity of fungal spore concentrations (*Alternaria*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Didymella*, *Ganoderma*) in Cracow, Poland. *Aerobiologia*, 25, 333.
- Stępalska, D., Harmata, K., Kasprzyk, I., Myszkowska, D. & Stach, A. (1999). Occurrence of airborne *Cladosporium* and *Alternaria* spores in southern and central Poland in 1995-1996. *Aerobiologia*, 15, 39-47.

- Suárez González, R., Rodríguez de la Cruz, D., Pérez Gorjón, S. & Sánchez Sánchez, J. (2003). Estudio aerobiológico de la ciudad de Salamanca durante el año 1995. *Studia Botanica*, 22, 27-35.
- Tormo Molina, R., Rodríguez, A. M., Palaciso, I. S. & López, F. G. (1996). Pollen production in anemophilous trees. *Grana*, 35(1), 38-46.
- Tormo, R., Silva, I., Gonzalo, Á., Moreno, A., Pérez, R. & Fernández, S. (2011). Phenological records as a complement to aerobiological data. *International Journal of Biometeorology*, 55, 51-65.
- Tormo, R., Silva, I., Muñoz, A.F. & Paulino, R. (1999). Aerobiología en Extremadura: estación de Cáceres (1998). *Monografías REA*, 5, 115-118.
- Tosunoglu, A. & Bicakci, A. (2015). Seasonal and intradiurnal variation of airborne pollen concentrations in Bodrum, SW Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 167.
- Tosunoglu, A., Saatcioglu, G., Bekil, S., Malyer, H. & Bicakci, A. (2018). Atmospheric pollen spectrum in Stone City, Mardin; the northern border of Mesopotamia/SE-Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 635.
- Trigo, M. M., Recio, M., Toro, F. J. & Cabezudo, B. (1997). Intradiurnal fluctuations in airborne pollen in Málaga (S. Spain): A quantitative method. *Grana*, 36, 39-43.
- Uğuz, U., Güvensen, A., Tort, N. Ş., Dereboylu, A. E. & Baran, P. (2018). Volumetric analysis of airborne pollen grains in the city of Uşak, Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 42, 57-72.
- Vega Maray, A.M., Fernández González, D., Valencia Barrera, R.M., Fernández Salegui, A.B., Santos, F. & Latasa, M. (2002). Aerobiología en Castilla y León: Estación de León (2000-2001). *Monografías REA*, 7, 119-124.
- Velasco Jiménez, M. J., Alcázar, P., Domínguez Vilches, E. & Galán C. (2013). Comparative study of airborne pollen counts located in different areas of the city of Cordoba (south-western Spain). *Aerobiologia*, 29, 113-120.
- Vélez Pereira, A. M., De Linares, C., Canela, M. A., Belmonte J., 2019. Logistic regression models for predicting daily airborne *Alternaria* and *Cladosporium* concentration levels in Catalonia (NE Spain). *International Journal of Biometeorology*, 63, 1541-1553.
- Yli Panula, E., Fekedulegn, D. B., Green, B. J. & Ranta, H. (2009). Analysis of airborne *Betula* pollen in Finland; a 31-year perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6, 1706-1723.

Webgrafía:

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Valores climatológicos normales. Salamanca-Aeropuerto* (Último acceso: junio/2020). www.aemet.es.

Elena Vila, S. (2007). *Contribución al conocimiento micológico de la provincia de Salamanca*. (España). Recuperado de <http://www.amanitacaesarea.es/Setas%20de%20Salamanca%20final%20con%20bibliografia>.

Sociedad Española de Alergia e Inmunología Clínica (SEAIC). *Niveles ambientales de polen* (Último acceso: septiembre/2020). <https://www.polenes.com>.

CAPÍTULO V

Conclusiones

'Nunca llegarás a tu destino si te paras a tirar piedras a cada perro que te ladre'

- Winston Churchill

Del estudio aerobiológico realizado en la ciudad de Salamanca durante el periodo 2014-2016 y una vez mostrados y discutidos los resultados derivados de la captura y el análisis de las partículas aerovagantes de su atmósfera, pueden exponerse varias conclusiones.

Primera: *Cladosporium* resultó ser el tipo esporal más abundante registrándose sus máximos durante el verano y parte del otoño, seguido por *Aspergillus/Penicillium* con sus máximos en primavera y *Agaricus* durante la época otoñal. Debido a las bajas temperaturas del invierno, las esporas mostraron sus valores mínimos incluida *Periconia*, aun siendo una espora invernal.

Segunda: la estacionalidad permitió exponer de manera más clara la división entre esporas secas y húmedas, estando las primeras distribuidas en su mayoría durante el verano, (siendo la estación con mayor concentración de esporas en la atmósfera), mientras que las esporas húmedas tienen sus rangos de distribución y máximos en otoño cuando se dan las condiciones óptimas de humedad y temperaturas para sus cuerpos fructíferos, como *Agaricus* y *Coprinus*.

Tercera: los patrones de distribución intradiario mostraron nuevamente la separación entre esporas secas y húmedas. Las primeras (*Coprinus*, *Ganoderma* y *Leptosphaeria*) se distribuyeron en franjas horarias nocturnas con condiciones de alta humedad relativa, mientras que las esporas secas (*Alternaria* y *Aspergillus/Penicillium*) presentan un patrón de distribución entre medio día y atardecer.

Cuarta: los factores meteorológicos parecen influir de forma directa en la concentración de esporas fúngicas, permitiendo una mayor o menor presencia en función de las temperaturas y las precipitaciones registradas cada año. Las temperaturas y horas de sol mostraron coeficientes de correlación positivos con la mayoría de los tipos esporales secos mientras que, los tipos húmedos obtuvieron coeficientes positivos con la humedad relativa y las precipitaciones.

Quinta: las direcciones de los vientos NE y SE influyeron positivamente en *Alternaria* y *Cladosporium*, probablemente por la presencia de grandes zonas de cultivo en esas zonas mientras que los vientos del NO y SO se relacionan con las esporas húmedas debido a la presencia de zonas boscosas en esa dirección.

Sexta: la estacionalidad de las esporas de *Alternaria*, no obtuvo diferencias en su distribución, respecto a ambas zonas de la ciudad, sino en la concentración de sus esporas presentes en ellas, siendo más abundantes en la periferia. La distribución de edificios dentro de la ciudad probablemente sea un obstáculo para las esporas, mientras que en el entorno seminatural, no hay dichas barreras y los factores meteorológicos afectan más directamente en las concentraciones esporales, especialmente los vientos y las precipitaciones.

Séptima: las correlaciones entre las zonas de muestreo respecto a la abundancia de esporas de *Alternaria* no mostraron diferencias significativas entre las partículas capturadas por ambos captadores. Respecto a los niveles de riesgo establecidos para este tipo esporal, no se encontraron diferencias entre ambas zonas estudiadas, resultando en el mismo número de días con concentraciones de riesgo durante el primer año siendo muy similares durante el siguiente, lo que apunta a que no existen grandes diferencias entre las zonas.

Octava: la distribución horaria en el caso de *Alternaria*, no supuso un gran entre las diferentes zonas de la ciudad, siendo más suave la presencia a lo largo del día en el centro y con más oscilaciones en la periferia. Sin embargo, la distribución horaria parece estar sujeta a los cambios anuales y los parámetros meteorológicos.

Novena: las correlaciones con los parámetros meteorológicos obtuvieron coeficientes similares, aunque de menos valor en la zona del centro ciudad, posiblemente por la protección de edificios y muros además de la distribución de las calles. Los parámetros más relacionados con *Alternaria* fueron la temperatura máxima y la insolación, mientras que las lluvias y la humedad relativa estuvieron correlacionados negativamente.

Décima: los tipos de polen más abundantes hallados en la atmósfera de Salamanca fueron *Quercus*, Poaceae, *Pinus* y Cupressaceae. La situación de la ciudad junto con el gran número de granos de polen que producen estas especies vegetales, propició dichos resultados, sumado al hecho de la abundancia de especies de cupresáceas como elemento ornamental a lo largo del entorno urbano.

Undécima: la primavera resultó ser la estación con mayor concentración de partículas polínicas siendo el mes de mayo el que mayor número de granos de polen registró. El invierno fue la segunda época con mayor presencia de granos de polen en la atmósfera, gracias al aporte de especies como *Alnus*, Cupressaceae y *Fraxinus*. El verano tuvo importancia para algunas especies herbáceas como *Plantago* o *Rumex*, las cuales precisan de requerimientos de temperatura mayores.

Duodécima: la distribución intradiaria de los tipos de polen más abundantes en la atmósfera mostró una mayor presencia de partículas polínicas en la franja de las 17-24h, mientras que las primeras franjas del día sólo tuvieron como representante a Ericaceae. En las horas centrales del día se situaron aquellos tipos de polen cuya presencia en la atmósfera suele ser de corta duración como *Platanus* y *Salix* y tipos invernales como Cupressaceae y *Fraxinus*.

Decimotercera: los parámetros con mayor influencia sobre las concentraciones de polen, fueron la temperatura y la insolación, obteniendo coeficientes de correlación positivos, salvo para especies de carácter invernal. Las precipitaciones y la humedad relativa estuvieron

correlacionadas negativamente para la casi totalidad de granos de polen, salvo en el caso de *Fraxinus* el cual obtuvo coeficientes positivos con ambos parámetros meteorológicos. Por último la velocidad del viento obtuvo valores positivos para todos los tipos polínicos contemplados en el análisis de correlación, salvo en el caso de *Betula*.

Decimocuarta: las condiciones climáticas condicionan la presencia de granos de polen en la atmósfera de la ciudad, estando presentes de manera más abundante en la zona seminatural, al carecer de zonas que impidan la influencia de los parámetros meteorológicos sobre las concentraciones de las partículas polínicas y el movimiento y dispersión de las mismas, aunque sin diferencias significativas en los tipos de polen detectados en ambas zonas.

Decimoquinta: aquellas especies empleadas como ornamentales de manera más abundante en el centro de la ciudad como *Platanus* y *Olea*, obtuvieron mayores concentraciones en dicho punto de muestreo, mientras que las especies herbáceas como *Amaranthaceae*, *Poaceae*, *Rumex* y *Urticaceae*, alcanzaron mayores concentraciones en la periferia.

Decimosexta: los granos de polen que registraron un mayor número de días con concentraciones de riesgo para la población alérgica fueron *Poaceae* y *Cupressaceae*. *Olea* obtuvo un mayor número de días de riesgo en el centro ciudad, casi de igual forma que *Platanus*, mientras que lo opuesto sucede con herbáceas como *Amaranthaceae* o *Rumex* en la periferia, pudiendo establecerse dos zonas de influencia para personas alérgicas a estos tipos polínicos.

ANEXOS

*‘Quiero saltar de la rama de un roble
Gritar tu nombre y echar a volar
Tengo la fuerza del viento del Norte
Y esa bravura que viene del mar’
- Viento del Norte*

APORTACIONES A CONGRESOS

CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN

Los siguientes autores

**Fuentes Antón S., Rodríguez de la Cruz D.,
Sánchez Sánchez J., Sánchez Reyes E.**

han presentado la **comunicación oral** titulada

ESTUDIO PRELIMINAR DEL CONTENIDO ATMOSFÉRICO DE ESPORAS DE ALTERNARIA EN LA CIUDAD DE SALAMANCA.

en el **XV Congreso Español y V Congreso Iberoamericano de Salud Ambiental**, y la **II Jornada de la Asociación Española de Aerobiología**, celebrado en la Facultad de Medicina, de la Universitat de València, del 22 al 24 de mayo de 2019

Y para que así conste, firmamos el presente certificado

Valencia, 24 de mayo de 2019

José Vicente Martí Boscà
Presidente comité organizador

Ricardo Jiménez Peydró
Presidente comité científico

CONCEDIDA LA ACREDITACIÓN DE ACTIVIDADES DE FORMACIÓN CONTINUADA DE LAS PROFESIONES SANITARIAS
RECONOCIDO DE INTERÉS SANITARIO POR EL MINISTERIO DE SANIDAD, SERVICIOS SOCIALES E IGUALDAD CON FECHA DEL 27 DE FEBRERO DE 2019

www.sanidadambiental.com

Certificate of presentation

The oral communication entitled

Fungal spore calendar at the Middle-West of Spain: a preliminary study

has been given by

Sergio Fuentes, David Rodríguez de La Cruz, José Sánchez Sánchez, Estefania Sánchez Reyes

at the Mediterranean Palynological Societies Symposium 2019



on July 09-10-11, 2019

at Bordeaux

The organizing committee,

Stéphanie Desprat

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Desprat', is written over a light blue horizontal line.

ANEXO FOTOGRÁFICO

Tipos de polen



Acacia



Acer



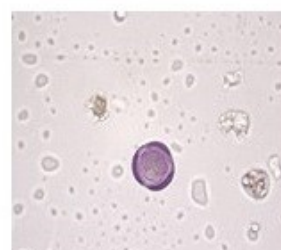
Ailanthus



Alnus



Apiaceae



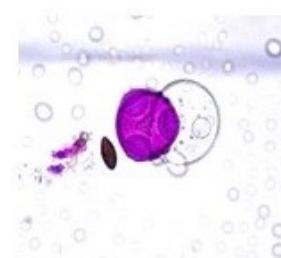
Artemisia



Betula



Castanea



Corylus



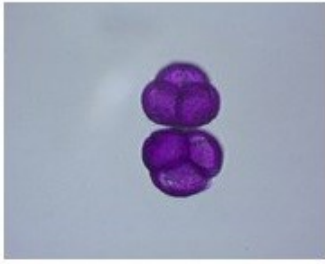
Cupressaceae



Cyperaceae



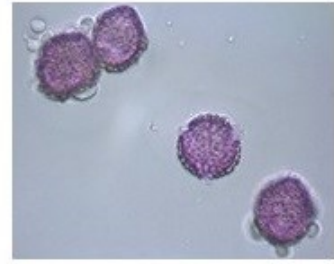
Echium



Ericaceae



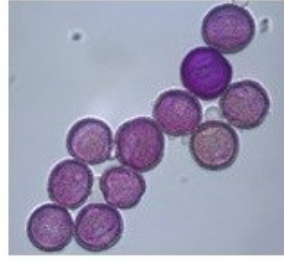
Fraxinus



Ligustrum



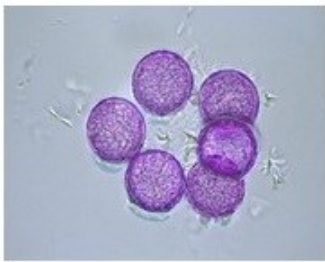
Myrtaceae



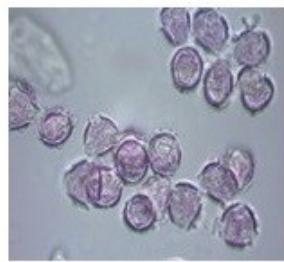
Olea



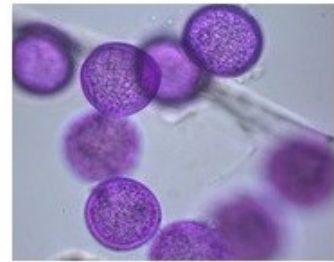
Pinus



Plantago



Platanus



Poaceae



Populus



Quercus



Rumex



Salix

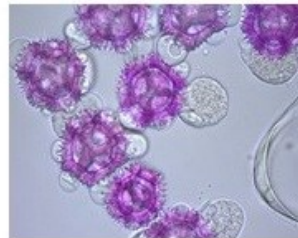


Urticaceae

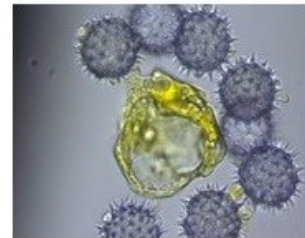
Compositae



Anthemis



Cichorium

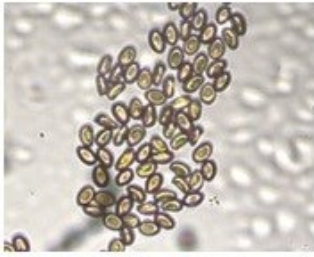


Helianthus

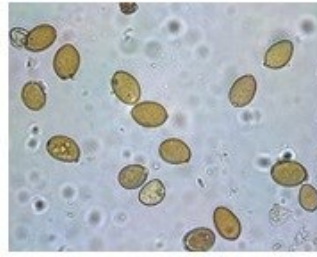


Taraxacum

Esporas fúngicas



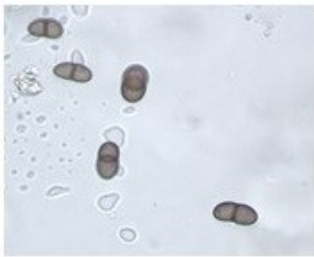
Agaricus



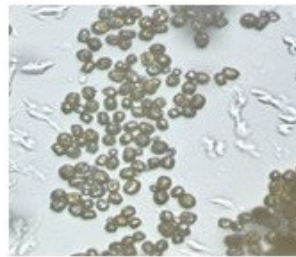
Agrocybe



Alternaria



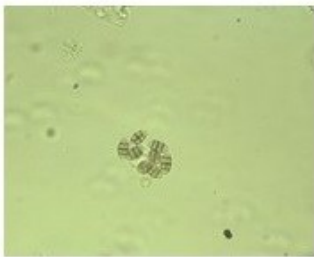
Ascospora



Aspergillus/Penicillium



Bovista



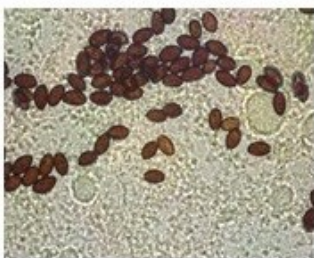
Capronia



Ceratosporium



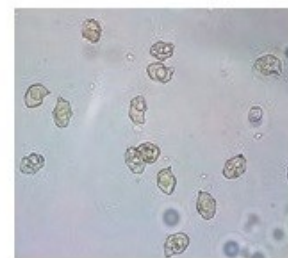
Cladosporium



Coprinus



Curvularia



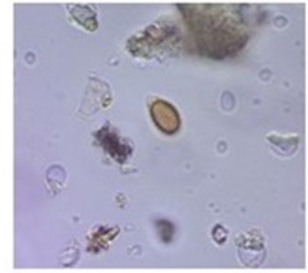
Entoloma



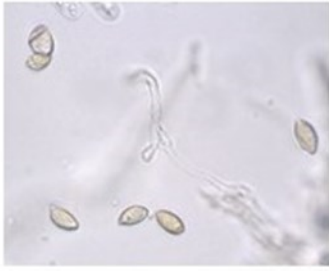
Epicoccum



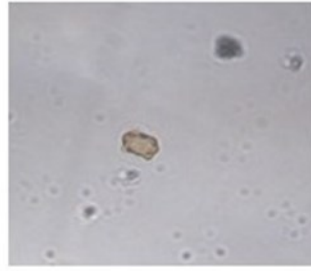
Fusarium



Ganoderma



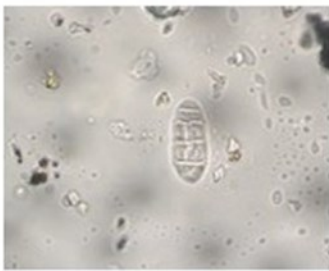
Hebeloma



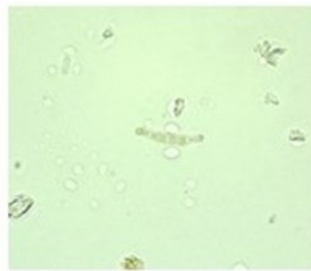
Inocybe



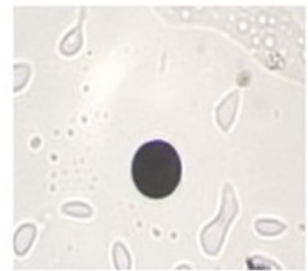
Leptosphaeria



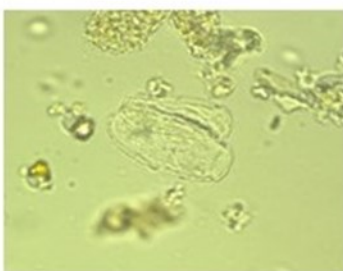
Leptosphaerulina



Massarina



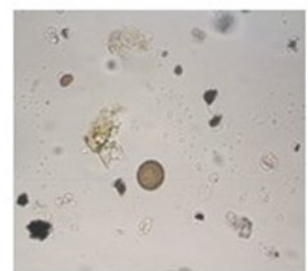
Nigrospora



Oidium



Paraphaeosphaeria



Periconia



Phaeosphaeria



Pleospora



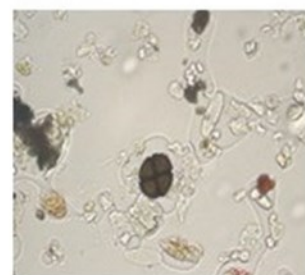
Polythrincium



Pithomyces



Saccobolus



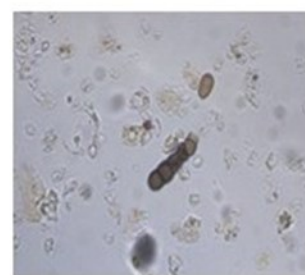
Spegazzinia



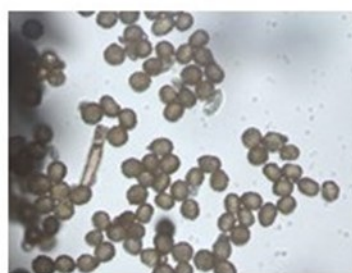
Sporormiella



Stemphylium



Torula



Ustilago

