

“Aerobiología de los hongos”

Dr. Ángel Moral de Gregorio.

Servicio de Alergología. Complejo Hospitalario de Toledo.

La aerobiología es la ciencia que estudia las partículas biológicas presentes en el aire, tanto exterior como interior. Como es el caso de bacterias, virus, protozoos, algas, musgos, líquenes, invertebrados (ácaros, insectos, arañas, nematodos), pólenes y hongos.

1. Características generales de los hongos

Los hongos son organismos con células provistas de núcleo (eucariotas), carentes de pigmentos fotosintéticos, con paredes celulares de quitina y betaglucanos, unicelulares o pluricelulares, que se reproducen de forma asexual y sexual, se nutren por absorción.

Los hongos se distinguen de los vegetales en la ausencia de clorofila, por lo que viven en simbiosis o como parásitos para obtener las sustancias de otros organismos y por la ausencia de celulosa en la pared celular.

La mayoría de los hongos son pluricelulares y presentan estructuras tubulares ramificadas o hifas, entrelazadas formando una madeja de filamentos llamada micelio (Figura 1). Hay un micelio vegetativo adosado a los sustratos (plantas, alimentos, suelo, medios de cultivo) y un micelio aéreo o reproductor, donde se forman las esporas.

El micelio vegetativo está formado por hifas de diámetro entre 2 y 15 micras y longitud variable, habitualmente divididas por tabiques o septos. Los núcleos están rodeados por una membrana nuclear.

Los hongos para alimentarse secretan enzimas extracelulares que degradan los polímeros en monómeros, y para que puedan difundir estas enzimas, se requiere un mínimo de humedad.



Hifas de *Alternaria* spp (Figura 1)

Los hongos se multiplican de forma asexual y sexual o solamente de forma asexual como ocurre con los hongos imperfectos o deuteromicetos, donde se encuentran la mayoría de los hongos responsables de las alergias respiratorias.

La temperatura óptima de crecimiento de los hongos es de 18 a 32°C, aunque los hongos pueden persistir entre 0-50°C.

Se han descrito medio millón de especies de hongos y solo 100 especies de unos 25 géneros se han relacionado con enfermedades alérgicas.

Los hongos son uno de los organismos vivos más beneficiosos ya que se utilizan para la fabricación de antibióticos y en la elaboración de alimentos como quesos y embutidos, pero a la vez más perjudiciales para la salud humana, produciendo enfermedades infecciosas y alérgicas. Se ha descrito que un 10% de la población general está sensibilizada a hongos y la mitad de éstos (5%) desarrollarán síntomas en algún momento. Además un 60% de individuos sensibilizados a hongos lo son a *Alternaria* spp y la sensibilización a *Alternaria* spp. se asocia con asma alérgico grave e ingresos en urgencias.

En los últimos años se ha producido un aumento en la prevalencia de sensibilización a los aeroalergenos en las rinitis alérgica, así según Alergológica 2015 con respecto a la de 2005, los pólenes han pasado de 51,9% a 70,8%, los ácaros de 40,2% a 43,2%, los epitelios de animales de 16,4% a 21,3%, y lo mismo ha ocurrido con los hongos pasando de 6,4% a 7,6%.

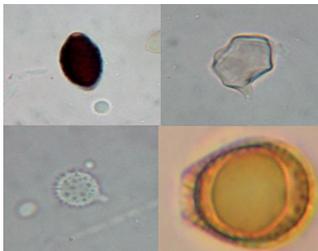
2. Taxonomía de los hongos con relevancia alérgica



Esporangiosporas (Figura 2)

La clasificación sistemática de los hongos es complicada, aunque se ha avanzado mucho con la ultraestructura, bioquímica y biología molecular, ya que algunos hongos modifican su morfología según las condiciones climatológicas y por otro lado algunos hongos tienen diferente morfología según la forma de reproducirse.

Los hongos pertenecen a dos reinos diferentes: Chromista y Eumycota. El reino Chromista no tiene interés alérgico, pero dentro del reino Eumycota, se encuentran los phylum Zygomycota u hongos inferiores y Dikariomycota u hongos superiores.



Basidiosporas (Figura 3)

Entre los hongos inferiores se han descrito 1.000 especies, entre ellos *Mucor* spp y *Rhizopus* spp y a sus esporas se las denomina esporangiosporas, que son de pequeño tamaño (menor de 7 micras) y redondeadas (figura 2).

Entre los hongos superiores se encuentran los hongos perfectos como ascomicetos y basidiomicetos y por

otro lado los hongos imperfectos o mitospóricos que son principalmente ascomicetos con reproducción asexual.

Se han descrito 30.000 especies de basidiomicetos, entre los que se encuentran *Boletus* spp y *Agaricus* spp que se reproducen por basidiosporas, que son redondeadas u ovales de pequeño tamaño (menor de 7 micras) (Figura 3).

Se han descrito 65.000 especies de ascomicetos, como *Pleospora* spp y *Leptosphaeria* spp, que se reproducen por ascosporas, con forma y tamaño variables (Figura 4).



Ascosporas (Figura 4)

Los principales hongos involucrados en enfermedades alérgicas respiratorias son los hongos imperfectos o mitospóricos y entre ellos se encuentran: *Alternaria* spp, *Aspergillus* spp, *Cladosporium* spp y *Penicillium* spp. Otros menos importantes son *Epicoccum* spp, *Curvularia* spp, *Periconia* spp, *Pithomyces* spp, *Stemphylium* spp, *Nigrospora* spp, *Cercospora* spp, *Puccinia* spp, *Torula* spp, *Polythrincium* spp y *Drechslera* spp.

Los géneros *Alternaria* spp, *Stemphylium* spp, *Ulocladium* spp, *Curvularia* spp, *Bipolaris* spp, *Drechslera* spp pertenecen a la familia Pleosporaceae, mientras que *Cladosporium* es de la familia Davidiellaceae y *Aspergillus* y *Penicillium* de la familia Trichomonaceae.

Los hongos mitospóricos de tamaño superior a 7 micras, como los de *Alternaria* spp, *Curvularia* spp y *Drechslera* spp son aerotransportados en pequeña cantidad y durante poco tiempo, siendo retenidos en las vías superiores por su tamaño; mientras que los de tamaño inferior a 7 micras, como *Penicillium* spp, *Aspergillus* spp y *Cladosporium* spp son transportados durante más tiempo y en mayor cantidad, pudiendo penetrar en los alveolos.

Los días secos y ventosos predominan los hongos mitospóricos, mientras que los días húmedos predominan las ascosporas y basidiosporas.

Un problema adicional con la identificación de los hongos es que los hongos mitospóricos tienen diferentes nombres cuando se reproducen sexualmente, así *Alternaria* spp (*Pleospora* spp, *Leptosphaeria* spp y *Lewia* spp), *Cladosporium* spp (*Venturia* spp, *Mycosphaerella* spp y *Capronia* spp), *Aspergillus* spp (*Emericella* spp, *Neosartorya* spp, *Eurotium* spp) y *Penicillium* spp (*Eupenicillium* spp, *Cordices* spp, *Talaromyces* spp).

Las principales fuentes de esporas fúngicas atmosféricas proceden de las hojas en descomposición de los bosques, invernaderos, pilas de compost, zonas desurbanizadas, praderas y campos de césped y los almacenes de heno, grano y harinas. Las esporas de *Cladosporium* son las más comunes (40-80%), seguidas de basidiosporas, ascosporas, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Botrytis* y levaduras. Suponen un 10% *Alternaria*, *Dydimella*, *Fusarium* y *Ustilago* y por debajo del 5% están *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Entomophthora*, *Erisiphe* y *Rhizopus*.

En ambientes de exterior los hongos alérgicos que predominan son *Alternaria* spp y *Cladosporium* spp, mientras que en los interiores podemos encontrar *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp, *Alternaria* spp y *Cladosporium* spp.

En un estudio realizado en la cueva de Nerja (Málaga) durante los años 2002 a 2005 se recogieron una media de 430.032 esporas anuales de *Aspergillus/Penicillium*, que representan un 50,24% del total de esporas recogidas. La concentración anual más elevada se produjo el año 2003 con 741.520 esporas de *Aspergillus/Penicillium*. En esta cueva se realiza un Festival de Música y Danza en el mes de julio, recogiendo 282.064 esporas de *Aspergillus/Penicillium* el 29 Julio de 2003, que representa un 38% del total anual de *Aspergillus/Penicillium* del año. El aumento de las concentraciones de esporas en este evento se podría explicar por la instalación de un escenario de madera que favorecería el crecimiento de las esporas de hongos. Sin embargo otros hongos en la cueva se han recogido en menor cantidad, como *Cladosporium* spp con una media anual de 146.227 esporas (17,08%) y *Alternaria* pp con 1.110 esporas anuales medias de *Alternaria* (0,13%) (Docampo S et al, 2011).

3. Principales hongos alergénicos

a) *Alternaria*

Es un hongo de distribución universal, del que se han descrito más de 270 especies, siendo las más frecuentes *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuis*, *Alternaria solani* y *Alternaria dendritica*.

Las esporas de *Alternaria* son grandes y alargadas (25 x >100 micras), formadas en cadenas que se rompen liberando las esporas o conidios (Figura 5). La forma es ovoide y recuerda una berenjena con una extremidad redondeada más ancha y otra más alargada con septos transversales y longitudinales con paredes marrones.

Las esporas son abundantes en el exterior durante días secos y con viento, pudiendo llegar a 4.000 esporas/m³ en 24 horas (Figura 6). Se ha determinado que el umbral capaz de producir síntomas en pacientes sensibilizados a *Alternaria* spp es de 100 esporas/m³ (Gravesen S, 1979).



Alternaria spp formando cadenas (Figura 5)



Esporas *Alternaria* spp (Figura 6)

b) *Cladosporium*

Se han descrito más de 770 especies de *Cladosporium*, siendo las más abundantes en el exterior durante días secos y con viento, recogiendo hasta 100.000 esporas/m³ en un solo día. El umbral capaz de producir síntomas en pacientes sensibilizados a *Cladosporium* spp es de 3.000 esporas/m³.

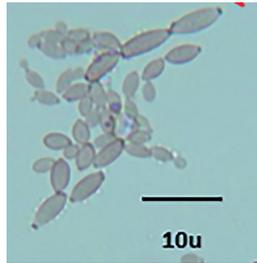
Las esporas son de forma elipsoidal pudiendo distinguirse por su morfología la de *Cladosporium herbarum* (Figura 7) , verde oliva (8 x 4 micras) de las de *Cladosporium cladosporoides* (Figura 8), color hialino (4 x 2 micras).

c) *Aspergillus*

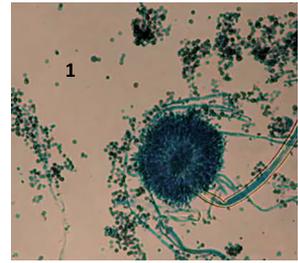
Se han descrito más de 170 especies, siendo las más frecuentes *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus fumigatus*. Las esporas son frecuentes en los edificios y tienen forma redondeada de 3- 5 micras de color claro a marrón (Figura 9).



Cladosporium herbarum
(Figura 7)



Cladosporium cladosporoides
(Figura 8)



Aspergillus spp (Figura 9)

d) *Penicillium*

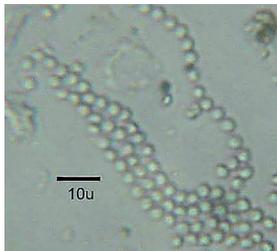
Como *Aspergillus* son frecuentes en los interiores y se han descrito unas 200 especies, siendo muy similares con forma redondeada de 3 a 5 micras y color azul verdoso o amarillento. Las más frecuentes son *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium glabrum* y *Penicillium expansum* (Figura 10).

e) *Cercospora*

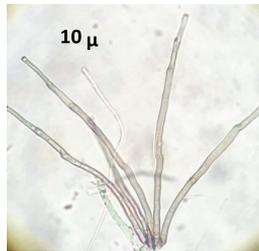
Se han descrito 1.200 especies y tienen forma muy alargada y miden 1-2 micras x 60-200 micras de color claro y septos transversales. (Figura 11).

f) *Curvularia*

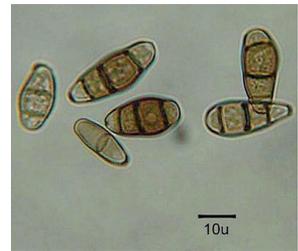
Tiene forma curvada debido a una célula central grande de 20-30 x 9-15 micras y de color marrón oscuro con septos (Figura 12).



Penicillium spp (Figura 10)



Cercospora spp (Figura 11)



Curvularia spp (Figura 12)

g) Drechslera

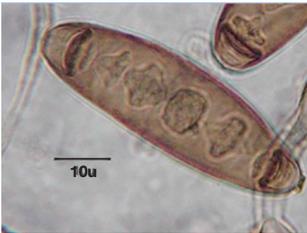
Tiene forma alargada con un extremo más delgado que el otro de 40-100 x 15-20 micras de color marrón con pseudoseptos (Figura 13).

h) Epicoccum

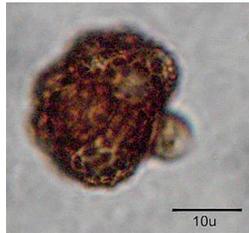
Tiene forma globulosa de 15 x 25 micras de diámetro de color marrón oscuro y muchos septos (Figura 14).

i) Periconia

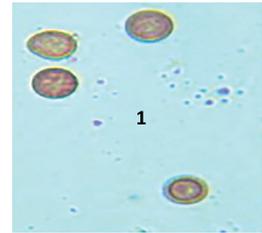
Son de forma redondeada con 7-15 micras de diámetro, de color marrón y superficie espinosa sin septos (Figura 15).



Drechslera spp (Figura 13)



Epicoccum spp (Figura 14)



Periconia spp (Figura 15)

j) Nigrospora

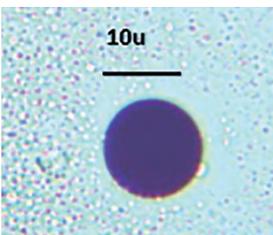
Tienen forma globosa con 10 - 20 micras de diámetro de color negro sin septos (Figura 16).

k) Pithomyces

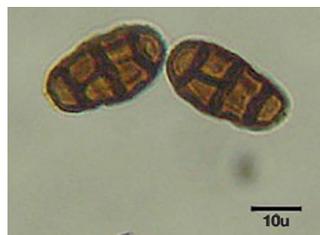
Son de forma oblonga como un barril, de color marrón oscuro, de 18-30 x 10-17 micras, con 3 septos transversales y uno longitudinal (Figura 17).

l) Polythrincium

Tiene forma de globo aéreo de color marrón claro de 17-25 X 13-25 micras con un septo transversal (figura 18).



Nigrospora spp (Figura 16)



Pithomyces spp (Figura 17)



Nigrospora spp (Figura 16)

m) Puccinia

De forma esférica de color anaranjado con 25-40 x 15-20 micras de pared gruesa y ornamentación granulada (Figura 19).

n) Stemphylium

Forma oblonga o subesférica de color marrón de 25-40 x 20-30 micras y con muchos septos transversales y longitudinales y una constricción central (Figura 20).

ñ) Torula

Forma cilíndrica y constreñida en los septos (ristra de morcillas), de color marrón oscuro con septos transversales de 20-70 x 5-9 micras (Figura 21).



Puccinia spp (Figura 19)



Stemphylium spp (Figura 20)



Torula spp (Figura 21)

4. Muestreo aerobiológico de esporas de hongos

Las esporas de hongos exhiben una amplia diversidad aerobiológica tanto cuantitativa como cualitativa (se pueden registrar desde 200 a 1.000.000 de esporas/m³) muy condicionada por el ambiente, características geográficas y estación climática de cada latitud. Se registran con los mismos captadores de polen utilizados en Aerobiología, superando a aquellos en un número de más de 10.000 veces (Belmonte J et al, 1992).

Para la recogida de esporas de hongos en la atmósfera se utilizan captadores de partículas volumétricos por succión, basados en el principio del impacto (Hirst, 1952). Estos captadores permiten obtener datos homologables independientemente de las características biogeográficas y bioclimáticas de la zona en la que se realice el muestreo. Estos aparatos permiten asimismo, obtener datos horarios a lo largo de todo el día.

Entre las ventajas de utilizar captadores tipo Hirst se citan la robustez del aparato, que ha de permanecer ubicado en el exterior sometido a las inclemencias meteorológicas, la simplicidad de su manejo, su eficacia y los mínimos requerimientos que necesita para su funcionamiento ya que, una vez elegido el sitio de ubicación, sólo es necesario disponer de una toma de corriente permanente y de un sistema de anclaje a la superficie. Puede funcionar de forma autónoma durante una semana con la posibilidad de obtener datos

diarios y horarios y el más utilizado es el modelo Burkard 7-day recorder spore-trap, de Burkard Manufacturing Co. Ltd., UK (Figura 22).

El muestreador de esporas de hongos consta básicamente de tres unidades: unidad de impacto, veleta y bomba de vacío.

La unidad de impacto consta de un orificio de entrada, de 14 x 2 mm, y de un soporte circular (tambor) sobre el que quedan adheridas las partículas. Este soporte circular se encuentra conectado a un reloj con un mecanismo de giro que posibilita el movimiento del soporte a razón de 2 mm cada hora. De esta forma, se puede realizar el muestreo continuo de la atmósfera y obtener datos tanto horarios como diarios. Sobre el soporte circular se dispone un fragmento de cinta de Melinex® impregnada de sustancia adhesiva, para que las partículas que son succionadas desde el exterior a cierta velocidad puedan quedar adheridas, minimizando en lo posible los efectos de rebote (Figura 23).

La veleta se encuentra adosada al exterior de la estructura metálica que protege la unidad de impacto y su función es la de mantener el orificio de entrada en la dirección de los vientos dominantes. De esta manera, la eficacia de captación de las partículas que son aerotransportadas con las corrientes de aire es mayor.

La bomba de vacío permite la succión de un volumen de aire determinado, regulable a partir de un sistema de ajuste. El caudal de succión ajustado para realizar el análisis de las partículas aerotransportadas en el aire es de 10 litros/min, similar al volumen de inhalación de aire por el pulmón humano.



Captador Burkard 7 day spore (Figura 22) trap Hospital Virgen del Valle (Toledo) Figura 22



Tambor Burkard 7 day spore trap (Figura 23)

Una vez finalizado el periodo de muestreo (una semana de forma habitual, o con mayor frecuencia en los periodos de máxima incidencia), el tambor se traslada al laboratorio y se realizará el proceso de preparación de las muestras.

La cinta Melinex se corta en fragmentos de 48 mm, que corresponden a un día de muestreo y se tiñe con glicerogelatina teñida con fuchina sobre la cinta Melinex, para poder ser examinada al microscopio óptico a 400 aumentos, realizando 4 barridos longitudinales (lo que representa aproximadamente el 12% del área impactada). El número de esporas contados en estos 4 barridos se multiplica por el factor de conversión 0,55, lo cual nos dará el número medio de esporas de hongos por m³ de aire en 24 horas.

Pero además de recogerse las esporas de hongos en la atmósfera, es posible determinar los alérgenos fúngicos a través de colectores con un flujo más elevado que son capaces de recoger partículas de hasta 0,1 micras, basado en técnicas de identificación por

ELISA inhibición. Para ello se utilizan captadores ciclónicos como el Cyclone multivial sampler (Burkard), que permite detectar alérgenos de los hongos, como Alt a 1 (glicoproteína ácida), Alt a 6 (enolasa), Asp f 1 (ribonucleasa) Asp f 3 (proteína peroximal), Cla h 8 (manitol deshidrogenasa) (Figura 24 y 25).



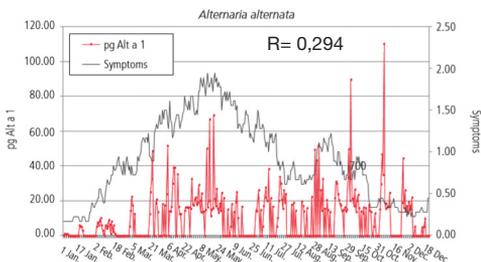
Cyclone multivial sampler
Hospital Virgen del Valle
(Toledo) (Figura 24)



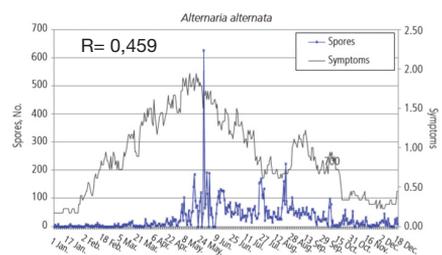
Interior Cyclone multivial
sampler (Figura 25)

No siempre es posible correlacionar los recuentos de esporas de hongos y los síntomas de los pacientes, como ocurre con los pólenes, porque podría existir más correlación entre los síntomas con los alérgenos como Alt a 1 u otros. Como ocurre con los pólenes, en los que los alérgenos pueden proceder de otras partes de la planta, como hojas y tallos, en los hongos los alérgenos pueden proceder de las hifas y no solo de las esporas.

En Ciudad Real se determinaron los niveles de esporas de alternaria (Burkard spore trap) junto a los niveles de Alt a 1 (Air Sentinel) y se correlacionaron con los síntomas de pacientes alérgicos monosensibilizados a *Alternaria alternata* en 2004. De 418 pacientes con rinitis alérgica estaban sensibilizados a *Alternaria alternata* 54 (13%). El día pico de esporas de alternaria se produjo el 8 de junio con 626 esporas/m³, y el valor máximo de Alt a 1 se recogió el 16 de noviembre con 110,25 pg/m³. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,294 entre Alt a 1 y los síntomas de los pacientes (Figura 26), mientras que la correlación entre las esporas de alternaria y los síntomas fue de 0,459 (Figura 27) (Feo Brito F. et al, 2012).



Correlación entre síntomas y niveles Alt a 1 en Ciudad Real (2004) Figura 26



Correlación entre síntomas y número de esporas de alternaria en Ciudad Real (2004) Figura 27

5. Concentraciones de esporas de alternaria en España

Existe una marcada variabilidad en las concentraciones de alternaria en las diferentes regiones geográficas, con variaciones estacionales dependientes de las variables meteorológicas.

Según los datos de las diferentes estaciones aerobiológicas del Comité de Aerobiología de la Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica durante los años 2000 a 2018, las concentraciones de esporas de alternaria en España se pueden detectar en la atmósfera durante todo el año, aunque los niveles más elevados se presentan durante el periodo primaveral y estival, y las más bajas durante el invierno (Tabla 1).

La mayor concentración media anual de esporas de alternaria se produjo en Lérida con 47.647 esporas/m³, seguido a mucha distancia de Salamanca con 14.615 esporas/m³ y otras ciudades catalanas como Tarragona 11.047 esporas/m³, Barcelona 9.918 esporas/m³, Gerona 8.398 esporas/m³ y Burgos con 7.790 esporas/m³.

La concentración anual máxima de esporas de Alternaria también se recogió en Lérida con 65.994 esporas/m³ el año 2013, seguido de Burgos con 21.395 esporas/m³ el año 2014, Tarragona con 19.124 esporas/m³ el año 2018, Salamanca 15.331 esporas/m³ el año 2004 y Gerona 15.306 esporas/m³ en el 2014.

La mayor concentración de esporas de alternaria en un solo día se recolectó en Lérida con 4.306 esporas/m³ el 25 de junio de 2014, seguido de Barcelona con 1.240 esporas/m³ el 24 de mayo de 2004, Tarragona 1.120 esporas/m³ el 23 de mayo de 2018 y Burgos 1.090 esporas/m³ el 27 de junio de 2014.

CIUDAD	CONCENTRACION ANUAL MEDIA esporas/m ³	CONCENTRACION ANUAL MAXIMA esporas/m ³ (año)	DIA PICO esporas/m ³
LERIDA	47.647	65.994 (2013)	4.306 (25 junio 2014)
SALAMANCA	14.615	15.331 (2004)	472 (09 julio 2018)
TARRAGONA	11.047	19.124 (2018)	1.120 (23 mayo 2018)
BARCELONA	9.918	14.876 (2014)	1.240 (24 mayo 2004)
GERONA	8.398	15.306 (2014)	599 (31 mayo 2014)
BURGOS	7.790	21.395 (2014)	1.090 (27 junio 2014)
CIUDAD REAL	5.943	12.213 (2007)	540 (27 junio 2017)
JATIVA	5.838	13.878 (2018)	536 (9 agosto 2018)
HUELVA	5.264	6.899 (2017)	348 (15 mayo 2017)
ZARAGOZA	5.117	8.774 (2014)	410 (21 junio 2016)
ALCAZAR SAN JUAN	5.029	7.036 (2014)	424 (13 mayo 2013)
SEVILLA	4.650	5.417 (2018)	340 (20 mayo/2016)
BADAJOS	4.593	9.166 (2007)	461 (31 mayo 2011)
MURCIA	4.175	6.661 (2014)	131 (4 mayo 2014)
CASTELLON	3.769	8.586 (2018)	275 (27 septiembre 2018)

Tabla 1. Concentraciones medias, días pico, y concentraciones anuales máximas de Alternaria spp en diferentes ciudades españolas (Comité de Aerobiología de SEAIC)

En Lérida las concentraciones medias diarias de esporas de alternaria demuestran una distribución bimodal con niveles elevados sobre todo en primavera, los meses de junio y julio y posteriormente en septiembre y octubre (Figura 28). Con respecto a las concentraciones mensuales medias de esporas de alternaria en Lérida los niveles más elevados se producen en junio con 11.561 esporas/m³ y octubre con 8.743 esporas/m³ (Figura 29). Las concentraciones anuales medias en los últimos 10 años de esporas de alternaria fueron 47.674 m³, con un máximo el 2013 con 65.994 esporas/m³ y un mínimo el 2015 con 24.016 esporas/m³ (Figura 30).

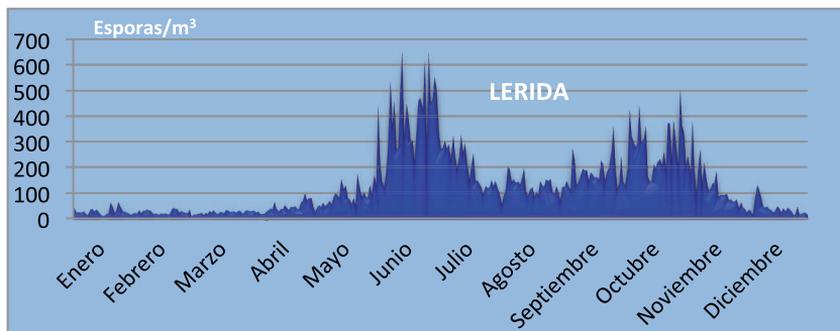


Figura 28. Concentraciones diarias medias de alternaria en Lérida (2009-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

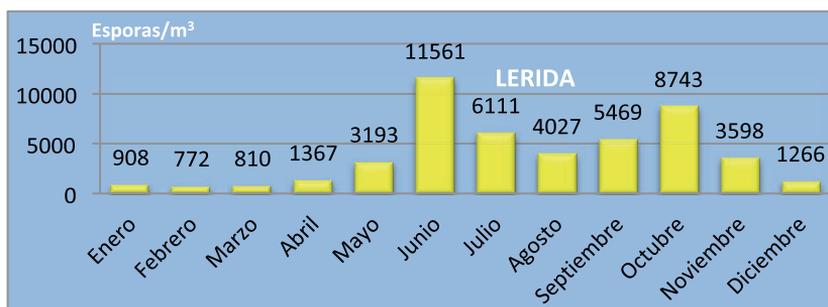


Figura 29. Concentraciones mensuales medias de alternaria en Lérida (2009-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

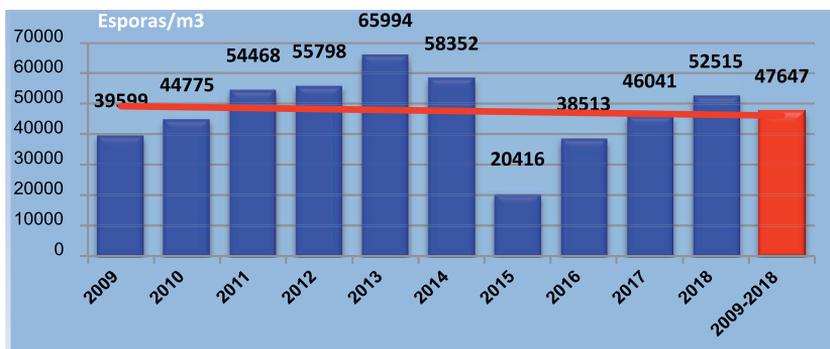


Figura 30. Concentraciones anuales medias de alternaria en Lérida (2009-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

En Barcelona también se comprueba una distribución bimodal con niveles elevados desde mayo a octubre con descenso en agosto (Figura 31). Con respecto a las concentraciones mensuales medias de esporas de alternaria en Barcelona los niveles más elevados se producen en junio con 2.092 esporas/m³ (Figura 32). Las concentraciones anuales medias en los últimos 14 años de esporas de alternaria fueron 9.751 m³, con un máximo el 2004 con 13.980 esporas/m³ y un mínimo el 2005 con 2.430 esporas/m³ (Figura 33).

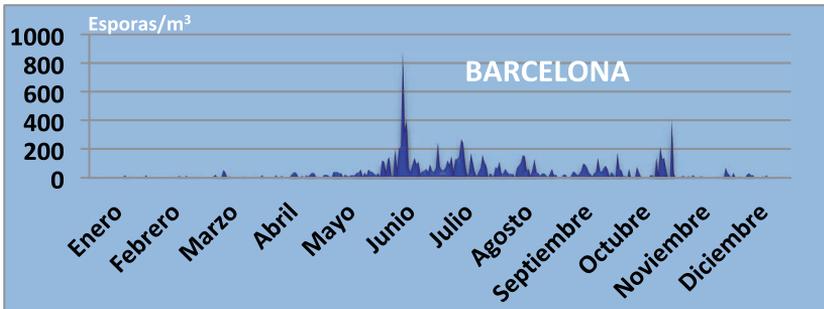


Figura 31. Concentraciones diarias medias de alternaria en Barcelona (2004-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

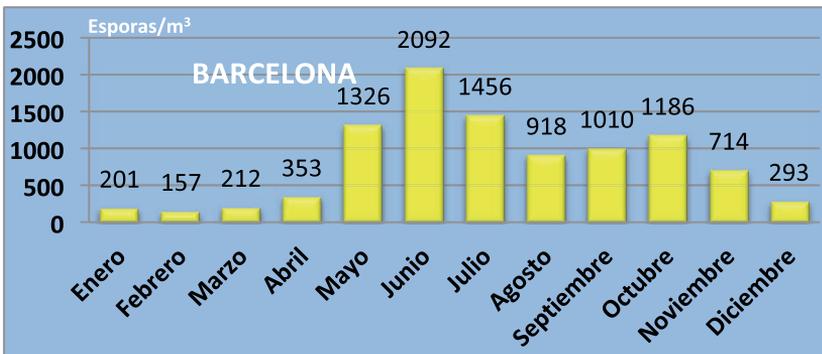


Figura 32. Concentraciones mensuales medias de alternaria en Barcelona (2004-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)



Figura 33. Concentraciones anuales medias de alternaria en Barcelona (2004-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

También se produce una distribución bimodal en Zaragoza con niveles elevados de junio a octubre con descenso en agosto (Figura 34). Con respecto a las concentraciones mensuales medias de esporas de alternaria en Zaragoza los niveles más elevados se producen en junio con 1.253 esporas/m³. Las concentraciones anuales medias en los últimos 12 años de esporas de alternaria fueron 5.066, con un máximo el 2014 con 8.774 esporas/m³ y un mínimo el 2006 con 3.132 esporas/m³ (Figura 35).

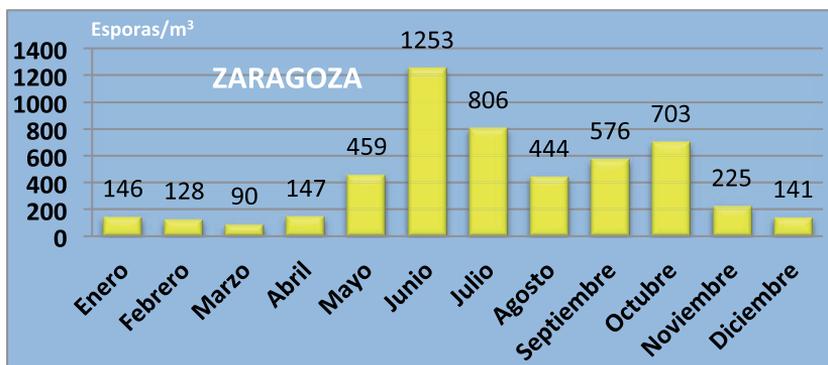


Figura 34. Concentraciones anuales medias de alternaria en Zaragoza (2006-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)



Figura 35. Concentraciones anuales medias de alternaria en Zaragoza (2006-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

Sin embargo en ciudades como Burgos aparece una distribución unimodal con niveles elevados en junio y julio (Figura 36). Con respecto a las concentraciones mensuales medias de esporas de alternaria en Burgos los niveles más elevados se producen en junio con 2.609 esporas/m³ y julio con 2.480 esporas/m³ (Figura 37). Las concentraciones anuales medias en los últimos 13 años de esporas de alternaria fueron 8.144 esporas/m³, con un máximo el 2014 con 21.395 esporas/m³ y un mínimo el 2007 con 2.080 esporas/m³ (Figura 38).

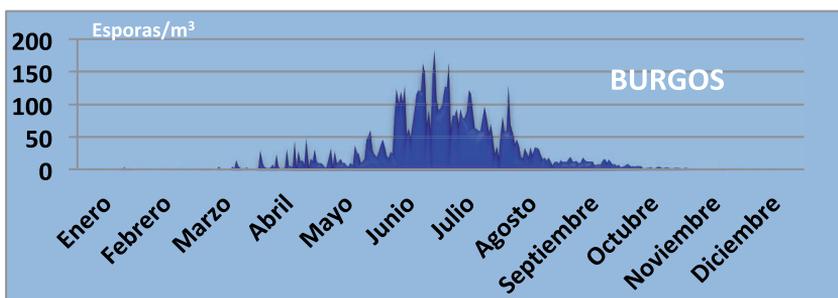


Figura 36. Concentraciones diarias medias de alternaria en Burgos (2005-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)



Figura 37. Concentraciones mensuales medias de alternaria en Burgos (2005-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

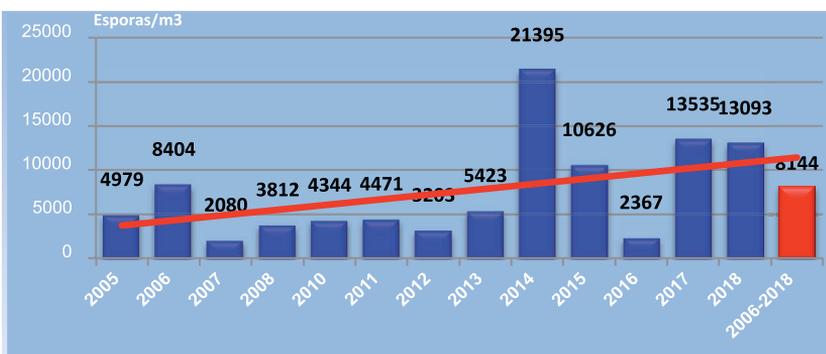


Figura 38. Concentraciones anuales medias de alternaria en Burgos (2004-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

En otras ciudades se produce una distribución bimodal con valores más elevados en el otoño como Elche y Badajoz (figura 39 y 40).

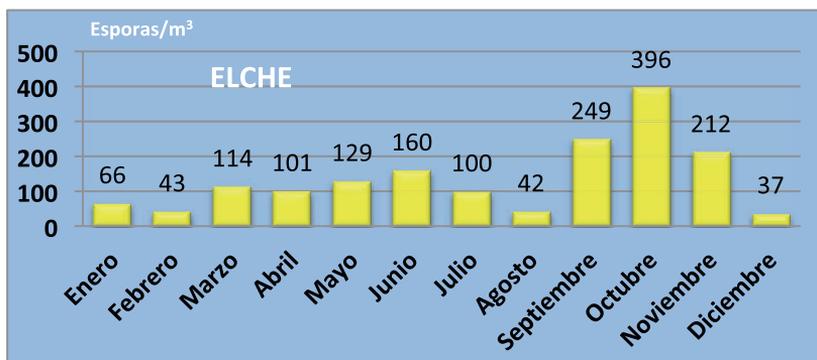


Figura 39. Concentraciones mensuales medias de alternaria en Elche (2012-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

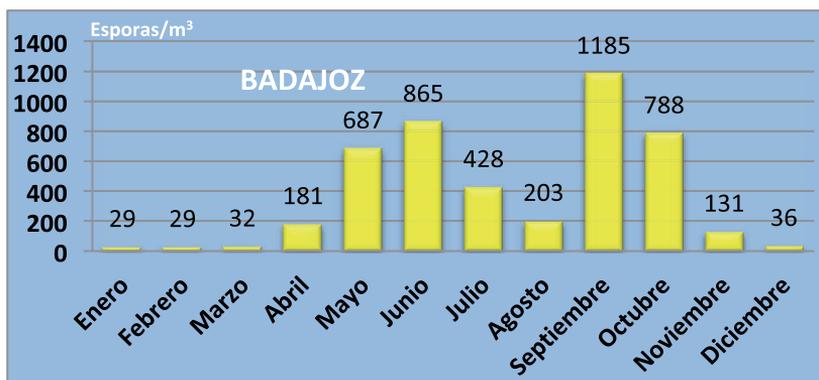


Figura 40. Concentraciones mensuales medias de alternaria en Badajoz (2007-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

En Las Palmas se recogen niveles de esporas no muy elevados pero si durante todo el año (Figura 41).

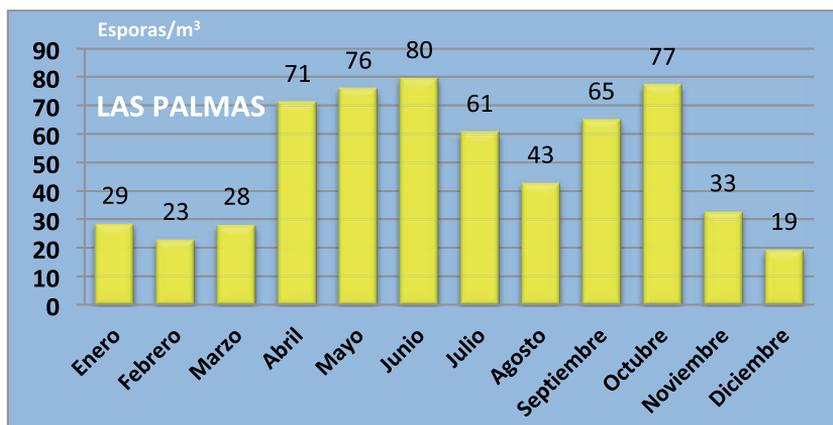


Figura 41. Concentraciones mensuales medias de alternaria en Las Palmas (2013-2018) (Comité Aerobiología SEAIC)

Fuera de España, la esporas de alternaria se recogen de forma más tardía, así en el Norte de Europa principalmente desde la primera mitad de agosto hasta la segunda mitad de septiembre y en Europa Central desde finales de abril a finales de septiembre, mientras que en la Europa Mediterránea se produce desde abril hasta octubre como en muchas zonas de España. De lo que parece que cuanto mayor es la latitud, menor duración de la presencia de alternaria (Hjelmroos M, 1993).

Al correlacionar los factores meteorológicos con los niveles de alternaria mensuales medios recogidos en las diferentes estaciones aerobiológicas del Comité de Aerobiología de la SEAIC, se demuestra que existen una correlación positiva muy elevada con la temperatura mensual media, tanto con la temperatura máxima, la media y la mínima y también con las horas de insolación en muchas estaciones (Tabla 2). Por lo que a mayor temperatura se recogen niveles de esporas de alternaria más elevados, como ocurre en Játiva, con la temperatura mínima $r = 0,9568$ (Figura 42), con la temperatura media $r = 0,9286$ (Figura 43) y temperatura máxima $r = 0,9247$ (Figura 44). Igualmente a mayor horas de insolación, en ciudades como Toledo se recogen niveles de esporas más altas, $r = 0,8733$ (Figura 45). Sin embargo existe una correlación negativa muy elevada con la humedad relativa y las concentraciones de esporas de alternaria en varias ciudades españolas, por lo que a menor humedad relativa se recogen niveles de esporas de alternaria más elevados como ocurre también en Toledo con $r = -0,8507$ (Figura 46). Con respecto a las precipitaciones se encuentran resultados diversos, con escasa correlación con las esporas de alternaria, excepto en Vitoria que hay una correlación negativa, $r = -0,7181$, por lo que en esta ciudad, a mayor precipitación niveles de esporas de alternaria más bajos (Figura 47).

	Tmax	Tmed	Tmin	Humedad	Insolación	Precipitación
ALCAZAR	0,7619	0,7625	0,7465	-0,7626	0,7901	-0,4084
ALMERIA	0,5573	0,5911	0,6396	0,1420	0,5244	-0,4183
ALICANTE	0,7737	0,7621	0,7491	-0,4684	0,7809	-0,3483
BADAJOS	0,6418	0,6652	0,6985	-0,6100	0,5288	-0,4263
BARCELONA	0,8105	0,7982	0,7995	-0,3849	0,6805	-0,1406
BILBAO	0,6743	0,7605	0,7738	-0,0357	0,6458	-0,6121
BURGOS	0,7585	0,7585	0,7511	-0,7258	0,8118	-0,5004
CACERES	0,7290	0,6866	0,7434	-0,7026	0,7107	-0,5463
CASTELLON	0,8745	0,8799	0,8822	0,3452	0,6905	-0,1021
CARTAGENA	0,7491	0,6115	0,6364	-0,1030	0,7306	-0,1373
CIUDAD REAL	0,7003	0,6677	0,6963	-0,7188	0,7302	-0,4963
ELCHE	0,2750	0,2771	0,2766	0,4216	0,0119	0,4743
GERONA	0,8582	0,8367	0,8392	-0,7625	0,7197	-0,0362
HUELVA	0,3885	0,4071	0,4079	-0,4211	0,4540	-0,2633
JAEN	0,5403	0,5290	0,5386	-0,5665	0,7116	-0,4191
JATIVA	0,9247	0,9286	0,9568	-0,0742	0,6778	-0,2901
LERIDA	0,6646	0,6753	0,7078	-0,4815	0,5388	0,0025
LOGROÑO	0,7520	0,7761	0,7813	-0,7092	0,7655	0,0970
MADRID	0,8624	0,8611	0,8570	-0,8413	0,8662	-0,6175
MURCIA	0,6644	0,5491	0,6704	-0,1585	0,5128	-0,3297
LAS PALMAS	0,5908	0,4728	0,5099	-0,0448	0,5699	-0,2921
SANTA CRUZ TENERIFE	0,1092	0,0879	-0,0040	-0,4661	0,3782	-0,4433
SALAMANCA	0,7687	0,8134	0,8191	-0,7260	0,7944	-0,1720
SAN SEBASTIAN	0,2088	0,1868	0,1657	0,0031	0,4653	-0,4339
SEVILLA	0,2216	0,2301	0,2402	-0,2893	0,3143	0,1182
TARRAGONA	0,8106	0,7254	0,8266	-0,5197	0,7293	-0,0450
TERUEL	0,9208	0,9210	0,9211	-0,6026	0,4357	0,7921
TOLEDO	0,8566	0,8528	0,8466	-0,8507	0,8733	-0,4155
VITORIA	0,8187	0,8511	0,8578	-0,6902	0,7928	-0,7181
ZARAGOZA	0,7622	0,7641	0,7678	-0,6114	0,6915	-0,0427

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Spearman entre las temperaturas máximas, medias, mínimas, humedad relativa, horas de insolación y precipitación mensual media y las concentraciones mensuales medias de alternaria en diferentes estaciones del Comité de Aerobiología de la SEAIC.

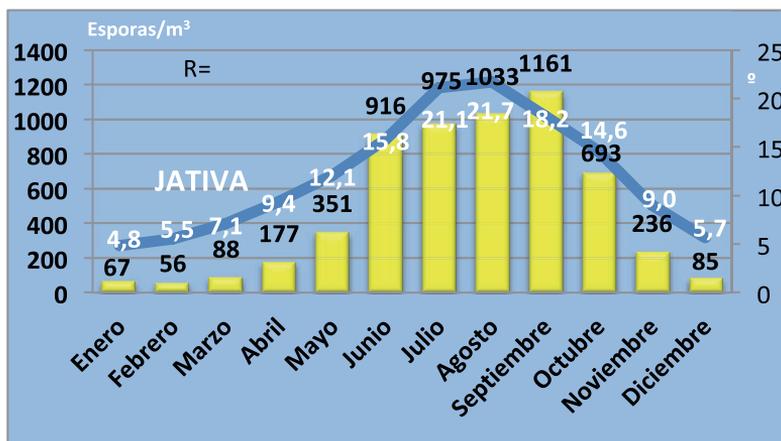


Figura 42. Coeficiente de correlación de Spearman entre temperatura mínima mensual media y concentraciones de esporas mensuales medias en Játiva (2009-2018). Comité Aerobiología SEAIC



Figura 43. Coeficiente de correlación de Spearman entre temperatura media mensual media y concentraciones de esporas mensuales medias en Játiva (2009-2018)Comité Aerobiología SEAIC.

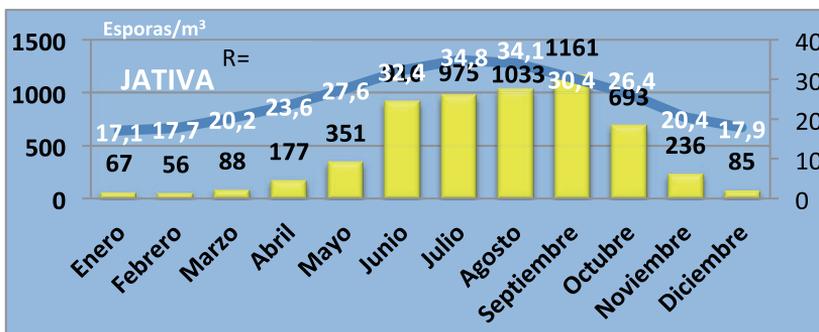


Figura 44. Coeficiente de correlación de Spearman entre temperatura máxima mensual media y concentraciones de esporas mensuales medias en Játiva (2009-2018) Comité Aerobiología SEAIC.

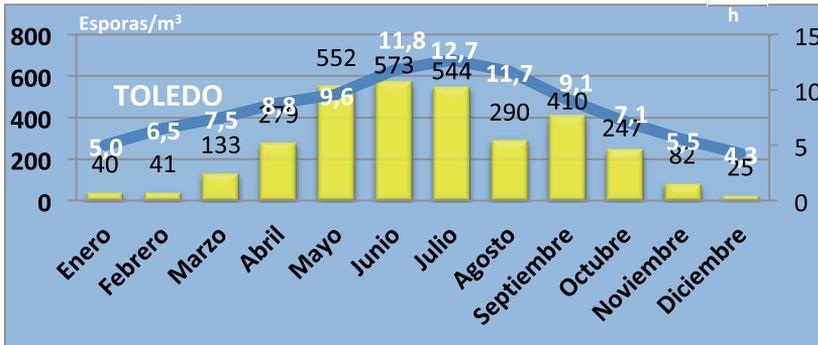


Figura 45. Coeficiente de correlación de Spearman entre horas de insolación mensuales medias y concentraciones de esporas mensuales medias en Toledo (2000-2018) Comité Aerobiología SEAIC.

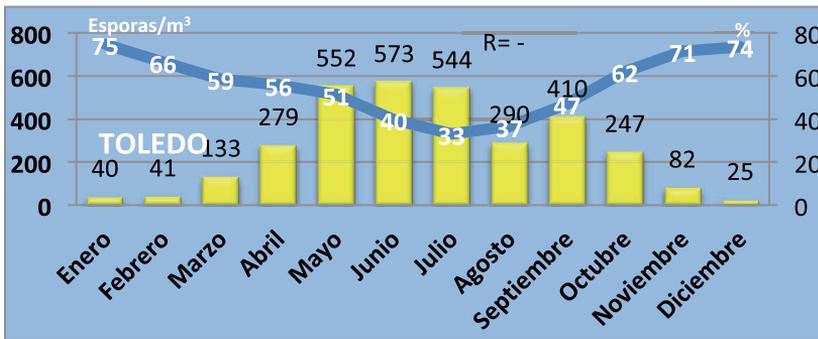


Figura 46. Coeficiente de correlación de Spearman entre humedad relativa mensual media y concentraciones de esporas mensuales medias en Toledo (2000-2018) Comité Aerobiología SEAIC

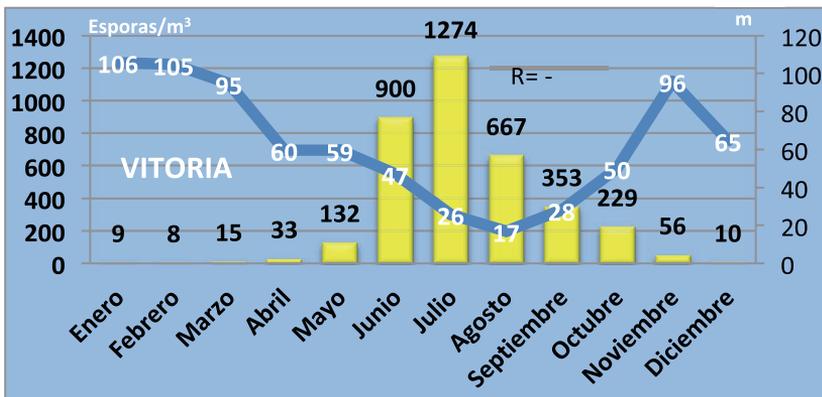


Figura 47. Coeficiente de correlación de Spearman entre precipitación mensual media y concentraciones de esporas mensuales medias en Vitoria (2007-2018) Comité Aerobiología SEAIC

Se ha demostrado que durante el mediodía se producen las concentraciones más elevadas de esporas del día, coincidiendo con las horas de más calor y de menor humedad.

En las zonas rurales que están menos urbanizadas se detecta una mayor presencia de esporas de alternaria (Kasprzyk I et al 2006).

La humedad y la lluvia escasa en los días previos favorecen el crecimiento de esporas de alternaria y su dispersión, ya que la lluvia intensa limpia las esporas de alternaria de la atmósfera (Aira MJ et al, 2008).

Por tanto las concentraciones de esporas de alternaria dependen principalmente de las temperaturas, de las horas de insolación y de la humedad relativa, y no de las precipitaciones.

6. Concentraciones de esporas de otros hongos en España

A pesar de la dificultad añadida a la lectura de pólenes en las preparaciones de la identificación de esporas de alternaria, en algunas estaciones del Comité de Aerobiología se ha procedido a la identificación de otras esporas de hongos, como es el caso de Ciudad Real, a cargo del Dr. Francisco Feo Brito. En el año 2013 se recogieron 170.796 esporas, de las cuales el más frecuente fue *Cladosporium* spp con 137.186 esporas (78,67%) (Figura 48) , seguido de *Coprinus* spp con 9.243 esporas (5,41%), *Alternaria* spp 9113 esporas (5,34%), Pleosporaceae 4.364 esporas (2,56%), *Ustilago* spp 2.838 esporas (1,63%), *Drechslera* spp 2.231 esporas (1,31%), *Polythrincium* spp 1.456 esporas (0,85%), *Agaricus* spp 1.086 esporas (0,64%), *Periconia* spp 986 esporas (0,58%), *Bovista* spp 934 esporas (0,55%), *Epicoccum* spp 792 esporas (0,46%) y *Rust* spp 678 esporas (0,4 %) (Tabla 3).

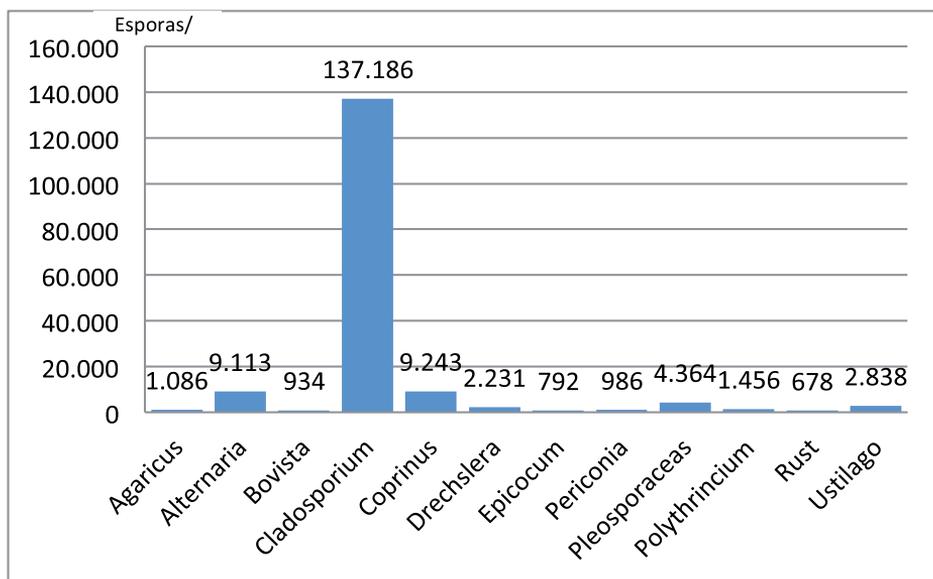


Figura 48. Concentraciones medias anuales de esporas de hongos en Ciudad Real durante el año 2013 (Comité Aerobiología SEAIC).

HONGOS	CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL	DÍA PICO	HONGOS	CONCENTRACIÓN ANUAL	DÍA PICO
Hongos totales	170.796 (100)		Leptosphaeria	240 (0,14)	26
Agaricus	1.086 (0,64)	80	Nigrospora	487 (0,29)	26
Agrocybe	443 (0,26)	24	Periconia	986 (0,58)	151
Alternaria	9.113 (5,34)	283	Pithomyces	72 (0,04)	6
Arthrinium	519 (0,30)	48	Pleospora pluricelulares	4.364 (2,56)	367
Bicelulares	23 (0,01)	15	Polythrincium	1.456 (0,85)	149
Bovista	934 (0,55)	97	Rust	678 (0,40)	56
Chaetomium	437 (0,26)	11	Stemphylium	324 (0,19)	24
Cladosporium	137.186 (78,67)	4.320	Tetraploa	6 (0,00)	4
Coprinus	9.243 (5,41)	648	Tilletia	18 (0,01)	4
Curvularia	13 (0,01)	2	Torula	532 (0,31)	15
Drechslera	2.231 (1,31)	73	Ustilago	2.838 (1,63)	173
Epicocum	792 (0,46)	32	Unicelulares	28 (0,02)	4
Fusarium	304 (0,18)	73	Xylariaceae	190 (0,11)	6

Tabla 3. Concentraciones medias anuales de esporas de hongos en Ciudad Real durante el año 2013 (Comité Aerobiología SEAIC)

En la Comunidad de Murcia el Comité de Aerobiología de la SEAIC dispone de 2 estaciones aerobiológicas, cuyo responsable es Stella Moreno: Murcia en el interior y Cartagena en la costa, que están separadas por unos 50 kilómetros. En Murcia la temperatura media y la humedad relativa anual es inferior a la de Cartagena, y se recogen niveles superiores en Murcia de alternaria spp 5.474 frente a 3.392 en Cartagena, y lo mismo ocurre con dos especies de Cladosporium, Cladosporium herbarum y Cladosporium cladosporioides (Tabla 4).

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	media
Murcia	Alternaria	6934	8293	4123	3745	6774	5479	2967	5474
	Cladosporium herbarum	60432	67826	46018	35179	62353	62537	57377	55961
	Cladosporium cladosporioides	12383	13860	7419	6588	4512	4634	3280	7525
Cartagena	Alternaria	4166	4264	2578	3322	4227	3120	2067	3392
	Cladosporium herbarum	41331	33486	26471	36389	40685	46231	43375	38281
	Cladosporium Cladosporioides	5519	6552	4808	7545	3807	2494	2779	4786

Tabla 4. Concentraciones anuales de Alternaria, Cladosporium herbarum y Cladosporium cladosporioides en Murcia y Cartagena durante los años 2010 a 2016.

Las concentraciones de Cladosporium herbarum en Murcia son de 55.961 esporas frente a 38.281 en Cartagena y las de Cladosporium cladosporioides en Murcia son de 7.525 esporas frente a 4.786 en Cartagena (Figura 49).

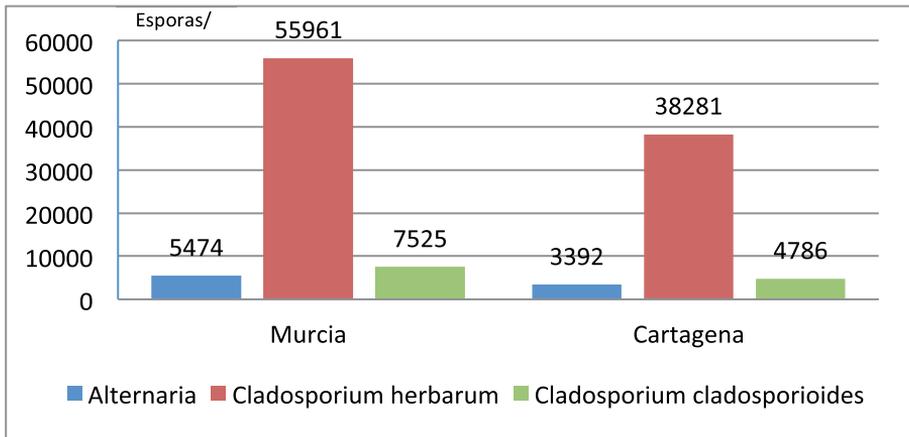


Figura 49. Concentraciones anuales medias de Alternaria, Cladosporium herbarum y Cladosporium cladosporioides en Murcia y Cartagena durante los años 2010 a 2016.

Las concentraciones de esporas de Cladosporium spp, siguen un patrón parecido al de Alternaria spp, pero con valores mucho más elevados, con concentraciones bajas en invierno y picos en primavera y septiembre-octubre con descenso en el verano y en los meses de noviembre y diciembre.

7. Bibliografía

1. Aira, MJ; Rodríguez_Rajo FJ; Jato, V (2008). 47 annual records of allergenic fungi spore: predictive models from the NW Iberian Peninsula. *Ann Agr Env Med*; 15: 91-98.
2. Belmonte, J; Roure, JM; Cadahia, A (1992). Espores a l'atmosfera de Catalunya. *Ann Med (Bar)*; 1: 11-15.
3. Docampo, S; Trigo, MM; Recio, M; Melgar, M; García-Sánchez, J; Cabezudo, B. (2011). Fungal spore content of the atmosphere of the Cave of Nerja (southern Spain): Diversity and origin. *409*; 835-843.
4. Feo Brito, F; Alonso, AM; Carnés, J; Martín-Martín, R; Fernández-Caldas, E; Galindo, PA; Alfaya, T; Amo-Salas, A (2012). Correlation Between Alt a 1 Levels and Clinical Symptoms in *Alternaria alternata*-Monosensitized Patients. *J Investig Allergol Clin Immunol*; Vol. 22(3): 154-159.
5. Gravesen S (1979). Fungi as cause of allergic disease. *Allergy*; 34 : 135-154.
6. Hjelmroos M (1993). Relationship between airborne fungal spore presence and weather variables: *Cladosporium* and *Alternaria*. *Grana*; 32: 40-47.
7. Kasprzyk, I; Worek, M (2006). Airborne fungal spores in urban and rural environments in Poland. *Aerobiology*; 22:169-176.