

Ruptura de polen en la atmósfera: un análisis a través de tres ciudades del sureste español (2019-2024)

Ruptura do pólen na atmosfera: uma análise em três cidades do sudeste de Espanha (2019-2024)

Pollen disruption in the atmosphere: an analysis across three cities in south-eastern Spain (2019–2024)

Francisco Aznar, Luis Negral, José M Moreno, Stella Moreno-Grau

Universidad Politécnica de Cartagena member of European University of Technology EUT+, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, 30202 Cartagena, España.
Instituto Murciano de Investigación Biosanitaria Pascual Parrilla-IMIB, 30120 Murcia, España.

Cita: Aznar F, Negral L, Moreno JM, Moreno-Grau S. Ruptura de polen en la atmósfera: un análisis a través de tres ciudades del sureste español (2019-2024). Rev. Salud ambient. 2026; 26(1):3-12.

Recibido: 9 de febrero de 2026. **Aceptado:** 14 de abril de 2026. **Publicado:** 15 de junio de 2026.

Autor para correspondencia: Stella Moreno-Grau.
Correo e: stella.moreno@upct.es

Financiación: Fundación Séneca a través de la actuación 22550/PI/24, financiada por FS/10.13039/100007801; del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España a través del proyecto SICAAP-CPI RTI2018- 096392-B-C21 y del Ayuntamiento de Murcia gracias al convenio 2024_AYTO.MURCIA-UPCT_ESTUDIOS AEROBIOLÓGICOS. Se agradece la labor técnica de Paula García López en la Red Aerobiológica de la Región de Murcia.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés relacionado con la preparación, revisión o publicación del presente artículo.

Resumen

La concentración de granos de polen aerovagante es causa de enfermedad alérgica, cuya vigilancia recae sobre las redes aerobiológicas, en una iniciativa pendiente de regulación legislativa en España. Siguiendo las directrices de la Red Española de Aerobiología, en este estudio se cuantificaron las concentraciones de granos de polen de conformidad con el método normalizado UNE-EN 16868:2020 (EN 16868:2019). Este método se empleó para investigar la concentración de polen y polen roto entre 2010 y 2024 en Cartagena, Lorca y Murcia, ciudades que integran la Red Aerobiológica de la Región de Murcia (REAREMUR). Con más de 100 granos de polen/m³ de Índice Polínico Anual (IPA), como tipos polínicos mayoritarios, se identificaron 23 tipos en Cartagena, y 25 en Murcia y Lorca. Entre los mayoritarios, se informaron hasta 10 con presencia de granos de polen roto. Se detectaron más de 100 granos de polen roto/m³ como IPA del tipo polínico de Cupressaceae en las tres ciudades y solo Casuarina en Murcia. La mayor contribución a la concentración de granos de polen roto fue debida al tipo polínico del ciprés, cuyo mecanismo de reproducción y propagación implica la ruptura de la exina, suponiendo un hecho multiplicador de los vectores alérgicos. Esta situación indica la conveniencia de la monitorización de los granos de polen roto de Cupressaceae para una mejor información y evitación de la exposición de los pacientes que padecen esta alergia.

Palabras clave: bioaerosol; captador Hirst; ciprés; UNE-EN 16868:2020; grano de polen; polen roto; red aerobiológica de la Región de Murcia.

Resumo

As concentrações de pólen no ar são uma causa de doenças alérgicas, cuja monitorização é da responsabilidade das redes aerobiológicas, uma iniciativa que aguarda regulamentação legislativa em Espanha. Seguindo as diretrizes da Rede Espanhola de Aerobiologia, este estudo quantificou as concentrações de pólen de acordo com o método padronizado UNE-EN 16868:2020 (EN 16868:2019). Este método foi utilizado para investigar as concentrações de pólen e pólen fragmentado entre 2010 e 2024 em Cartagena, Lorca e Múrcia, cidades que compõem a Rede Aerobiológica da Região de Múrcia (REAREMUR). Com um Índice Anual de Pólen (IPP) superior a 100 grãos de pólen/m³, foram identificados 23 tipos em Cartagena e 25 em Múrcia e Lorca. Entre os tipos

mais prevalentes, até 10 apresentaram a presença de grãos de pólen fragmentado. Mais de 100 grãos de pólen partidos/m³ foram detetados como alérgico (AAP) do tipo pólen Cupressaceae nas três cidades, e apenas Casuarina em Múrcia. A maior contribuição para a concentração de grãos de pólen partidos deveu-se ao tipo pólen de cipreste, cujo mecanismo de reprodução e dispersão passa pela ruptura da exina, multiplicando assim os vectores alérgicos. Esta situação indica a conveniência de monitorizar os grãos de pólen partidos de Cupressaceae para obter melhores informações e evitar a exposição dos doentes com esta alergia.

Palavras-chave: bioaerossol; coletor Hirst; cipreste; UNE-EN 16868:2020; grão de pólen; pólen partido; rede aerobiológica da Região de Múrcia.

Abstract

The concentration of airborne pollen grains causes allergic diseases, which are monitored by aerobiological networks, in an initiative pending legislative regulation in Spain. Following the guidelines of the Spanish Aerobiology Network, this study quantified pollen grain concentrations in accordance with the standardised method UNE-EN 16868:2020 (EN 16868:2019). This method was used to investigate the concentration of pollen and ruptured pollen between 2010 and 2024 in Cartagena, Lorca and Murcia, cities that make up the Aerobiological Network of the Region of Murcia (REAREMUR). With more than 100 pollen grains/m³ of Annual Pollen Index (APIn), 23 types were identified in Cartagena and 25 in Murcia and Lorca as the most common pollen types. Among the most common types, up to 10 were reported to have ruptured pollen grains. More than 100 ruptured pollen grains/m³ were detected as the APIn of the Cupressaceae pollen type in the three cities and only Casuarina in Murcia. The largest contribution to the concentration of ruptured pollen grains was due to the cypress pollen type, whose reproduction and propagation mechanism involves the rupture of the exine, which multiplies the allergenic vectors. This situation indicates the advisability of monitoring ruptured Cupressaceae pollen grains for better information and avoidance of exposure for patients suffering from this allergy.

Keywords: bioaerosol; Hirst trap; cypress; EN 16868:2019; pollen grain; ruptured pollen; aerobiological network of the Region of Murcia.

INTRODUCCIÓN

En las muestras aerobiológicas obtenidas mediante captadores volumétricos tipo Hirst es relativamente frecuente encontrar granos de polen con alteraciones en su estructura, granos rotos o abiertos y otras alteraciones. Uno de los tipos polínicos que frecuentemente se encuentra alterado es el de las cupresáceas¹, fácilmente distinguible, porque se abre dejando dentro de la exina parte de la célula, o está colocada cerca de la cubierta, con los característicos corpúsculos de Uebisch irregularmente repartidos por la superficie. Los granos de polen de esta familia presentan una exina especialmente frágil y delgada en comparación con otros tipos polínicos, lo que los hace particularmente vulnerables a factores de estrés ambiental como cambios bruscos de humedad, temperatura, o exposición prolongada a contaminantes atmosféricos².

En el glosario de términos palinológicos³ se define para este tipo polínico como «fissura» (Potonié, 1934), traducible como fisura, «Una división recta y aguda que aparece durante la germinación en ciertos granos de polen inaperturados». El polen de la familia Cupressaceae a microscopía óptica se describe como inaperturado, sin embargo, se ha documentado⁴ mediante microscopía electrónica de barrido, la presencia de un poro en estos granos de polen, un hallazgo que ya había sido sugerido con cierta cautela por Nilsson et al. (1977)⁵ para *Juniperus communis*. Durante el proceso reproductivo, el

grano de polen que llega al estróbilo es capturado por la gota polínica, ésta se retrae y el grano de polen es succionado hacia el micropilo. La hidratación del grano de polen provoca la ruptura de la exina, produciéndose la germinación y emisión del tubo polínico⁶. Este mecanismo reproductivo particular, basado en la fragilidad y ruptura por hidratación, explica por qué bajo condiciones meteorológicas específicas se produce una elevada fragmentación de los granos de polen en la atmósfera. Dado que un único grano de polen puede liberar hasta un millón de partículas subpolínicas tras su ruptura⁷, este proceso aumenta la probabilidad de desencadenar respuestas alérgicas y explica la aparición de la polinosis asociada a este tipo polínico⁸.

Más allá del caso específico de Cupressaceae, el presente estudio se plantea con el objetivo de caracterizar la presencia de granos de polen rotos o alterados en otros tipos polínicos presentes en el bioaerossol atmosférico de la Región de Murcia, evaluando su proporción y relevancia cuantitativa. Bajo esta premisa, se presentan los recuentos de los granos de polen alterados de las ciudades de Cartagena, Lorca y Murcia durante un periodo de seis años, desde el invierno de 2019 hasta el de 2025 (20 de marzo de 2025).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han recogido las muestras aerobiológicas en Cartagena, Lorca y Murcia siguiendo la metodología de

Hirst⁹, de acuerdo con la norma UNE EN 16868:2020¹⁰. El método de Hirst es un método activo de captación de aire ambiente a 14,4 m³/día, implementado en nuestro caso con el captador modelo Lanzoni VPPS 2000, que retiene las partículas aerogantes sobre silicona impregnada en una cinta de Mellinex[®]. Gracias a un tambor rotatorio que gira con la cinta, se produce un desplazamiento continuo de 48 mm/día que permite datar los fragmentos de la cinta en el laboratorio donde, además, se realiza la fijación y tinción de la muestra con glicerogelatina y fucsina, respectivamente. Este procedimiento no acetolítico permite la identificación de los tipos polínicos a microscopía óptica con el objetivo de 50x y ocular 10x. El recuento de los tipos polínicos sobre la cinta se realiza sobre 4 transectos longitudinales que, al multiplicarse por un factor propio de cada microscopio óptico, posibilita la comunicación de las concentraciones polínicas diarias en el aire ambiente como granos de polen/m³. Este método refiere valores representativos de las concentraciones polínicas extramuros y ha sido validado en ensayos interlaboratorio en los que nuestros grupos de investigación han participado¹¹.

Las concentraciones polínicas diarias (granos de polen/m³) de las ciudades de Cartagena, Lorca y Murcia se han almacenado en una base de datos Excel para el periodo 2010-2024. A partir de estos datos, se ha calculado el Índice Polínico Anual (IPA), que representa la suma de las concentraciones diarias a lo largo del año, y el Índice Polínico Estacional (IPE), correspondiente a la suma de las concentraciones diarias a lo largo de las estaciones meteorológicas (otoño, invierno, primavera y verano)¹². En el análisis general, se denominan tipos polínicos mayoritarios a aquellos que superen el IPA de 100 granos de polen/m³ en al menos uno de los años. El estudio de los granos de polen rotos en las muestras se inició en Cartagena, Lorca y Murcia el 1 de septiembre de 2019 y continúa registrando estos valores hasta la actualidad. En el presente trabajo recogemos los resultados de polen roto obtenidos desde el inicio del otoño de 2019 (21 de septiembre de 2019) hasta el final del invierno del año 2024-2025 (20 de marzo de 2025).

Los granos de polen rotos se han cuantificado identificando el tipo polínico siempre que ha sido posible reconocer la estructura de la exina del grano de polen y sus aperturas. Cuando el reconocimiento del tipo polínico no ha sido posible, se ha cuantificado como no identificado. Para el tratamiento de los datos hemos considerado el año comenzando en el invierno de un año y concluyendo al finalizar el otoño del siguiente (21 de septiembre a 20 de septiembre del año siguiente).

Con los resultados obtenidos en los recuentos se han calculado las concentraciones de polen roto diario y realizado una base de datos en Excel para cada una de las ciudades.

La tabla 1 recoge la información geográfica y bioclimática de los puntos de muestreo en las ciudades de Cartagena, Lorca y Murcia¹³⁻¹⁴.

Tabla 1. Información geográfica y bioclimática de los puntos de muestreo situados en las ciudades de Cartagena, Lorca y Murcia

Ciudad	Cartagena	Lorca	Murcia
Localización de los puntos de muestreo	37° 36' 18"N 00° 58' 30"W 21 m snm	37° 38' 42"N 01° 44' 05"W 403 m snm	37° 58' 57"N 01° 07' 18"W 75 m snm
Piso bioclimático*	Termomediterráneo superior		

*Según Rivas-Martínez et al. (2017).⁸

RESULTADOS

Siguiendo el criterio recogido en materiales y métodos para la catalogación de un tipo polínico como mayoritario se han encontrado para la base de datos de la Región de Murcia 2010-2024:

En Cartagena 23 tipos polínicos (Cupressaceae, *Olea*, *Quercus*, *Platanus*, Pinaceae, Urticaceae, Amaranthaceae, *Artemisia*, *Arecaceae*, *Morus*, Poaceae, *Zygophyllum*, *Rumex*, *Plantago*, *Mercurialis*, *Fraxinus*, Brassicaceae, *Casuarina*, Betulaceae, *Echium*, Theligionaceae, Apiaceae y otras compuestas no *Artemisia*).

En Murcia 25 (Cupressaceae, *Casuarina*, Pinaceae, *Platanus*, *Olea*, *Quercus*, Amaranthaceae, Urticaceae, *Arecaceae*, Poaceae, *Morus*, *Artemisia*, *Zygophyllum*, *Plantago*, Brassicaceae, Betulaceae, *Typhaceae*, *Populus*, *Fraxinus*, Theligionaceae, *Rumex*, Apiaceae, *Ulmus*, *Tamarix* y *Schinus*).

En Lorca 25 (Cupressaceae, *Olea*, Amaranthaceae, *Artemisia*, *Quercus*, Pinaceae, Poaceae, Urticaceae, *Platanus*, *Zygophyllum*, *Morus*, *Plantago*, Brassicaceae, *Schinus*, Myrtaceae, *Arecaceae*, *Fraxinus*, Theligionaceae, *Rumex*, *Echium*, Betulaceae, *Populus*, otras compuestas no *Artemisia*, *Tamarix* y Apiaceae).

En el bioaerosol de las ciudades estudiadas en la Región de Murcia desde el inicio del recuento específico de los tipos polínicos rotos pero identificables, hemos encontrado un total de 9 tipos polínicos, además de Cupressaceae (92,60 %), es decir, abiertos o fragmentos del grano de polen, pertenecientes a *Artemisia* (0,29 %), *Casuarina* (1,30 %), otras compuestas no *Artemisia* (0,01 %), Amaranthaceae (1,07 %), *Olea* (0,31 %), Pinaceae (2,19 %), Poaceae (0,28 %), *Quercus* (0,04 %) y *Rumex* (0,01 %), todos ellos clasificados como mayoritarios. En

ocasiones, no es factible la identificación del fragmento y lo hemos clasificado como no identificado.

En las tablas 2 a 4 se recogen para Cartagena, Lorca y Murcia los valores acumulados anuales (índices polínicos anuales) calculados desde el primer día del invierno hasta el último día del siguiente otoño (21 de diciembre de un

año hasta el 20 de diciembre del siguiente) del polen roto. Por lo que en esas tablas no se han considerado los días del otoño 2019, ni los del invierno 2024-2025. Datos que sí aparecerán cuando se muestren resultados por estaciones meteorológicas (otoño, invierno, primavera y verano). Se incluye también la suma del polen roto y el polen roto sin ciprés.

Tabla 2. Índice Polínico Anual, IPA, (granos/m³) de polen roto en la ciudad de Cartagena

Tipo polínico	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024
<i>Artemisia</i>	5	3	8	1	-
<i>Casuarina</i>	3	3	-	--	-
Compuestas	-	-	-	-	-
Cupressaceae	1 725	1 064	1 477	1 093	429
Amaranthaceae	18	40	21	3	4
<i>Olea</i>	3	14	2	3	1
Pinaceae	29	48	66	8	4
Poaceae	1	10	3	-	2
<i>Quercus</i>	-	1	-	-	-
<i>Rumex</i>	-	1	-	-	-
Indeterminados	26	82	30	7	4
Total polen roto	1 810	1 266	1 607	1 115	444
Polen roto sin Cupressaceae	85	202	130	22	15

Tabla 3. IPA (granos/m³) de polen roto en la ciudad de Lorca

Tipo polínico	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024
<i>Artemisia</i>	7	9	14	1	-
<i>Casuarina</i>	-	1	1	-	-
Compuestas	1	-	-	-	-
Cupressaceae	3 055	1 771	2 999	296	355
Amaranthaceae	15	30	39	2	3
<i>Olea</i>	5	15	5	-	-
Pinaceae	11	68	73	30	12
Poaceae	1	11	18	-	-
<i>Quercus</i>	-	2	-	-	-
<i>Rumex</i>	-	1	-	-	-
Indeterminados	16	76	26	4	2
Total polen roto	3 111	1 984	3 175	333	372
Polen roto sin Cupressaceae	56	213	176	37	17

Tabla 4. IPA (granos/m³) de polen roto en la ciudad de Murcia

Tipo polínico	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024
<i>Artemisia</i>	8	5	8	2	-
<i>Casuarina</i>	102	165	30	5	7
Compuestas	-	1	-	-	-
Cupressaceae	2 840	1 265	2 978	369	889
Amaranthaceae	35	21	20	2	9
<i>Olea</i>	5	14	6	2	-
Pinaceae	67	48	42	24	4
Poaceae	6	10	7	-	-
<i>Quercus</i>	-	1	-	5	-
<i>Rumex</i>	-	1	-	-	-
Indeterminados	26	105	48	10	3
Total polen roto	3 089	1 636	3 139	419	912
Polen roto sin Cupressaceae	249	371	161	50	23

La figura 1 muestra los valores acumulados por estaciones meteorológicas (otoño, invierno, primavera y verano) de las tres ciudades, desde el otoño de 2019 hasta el invierno 2024-2025, para el total del polen roto, el polen roto de *Cupressaceae* y el total del polen roto sin los de las *Cupressaceae*.

La tabla 5 muestra los valores medios de los índices polínicos anuales del periodo 2019-2024 para los recuentos totales y el polen roto de los tipos polínicos que aparecen en las tablas 2 a 4.

Figura 1. Índices polínicos estacionales (IPE, granos de polen/m³) del total del polen roto (a), el polen roto de *Cupressaceae* (b) y el total del polen roto sin las *Cupressaceae* (c) en Cartagena (naranja), Lorca (verde) y Murcia (azul). Las abreviaturas del eje X combinan la inicial de la estación (I=invierno, P=primavera, V=verano, O=otoño) con los dos últimos dígitos del año correspondiente

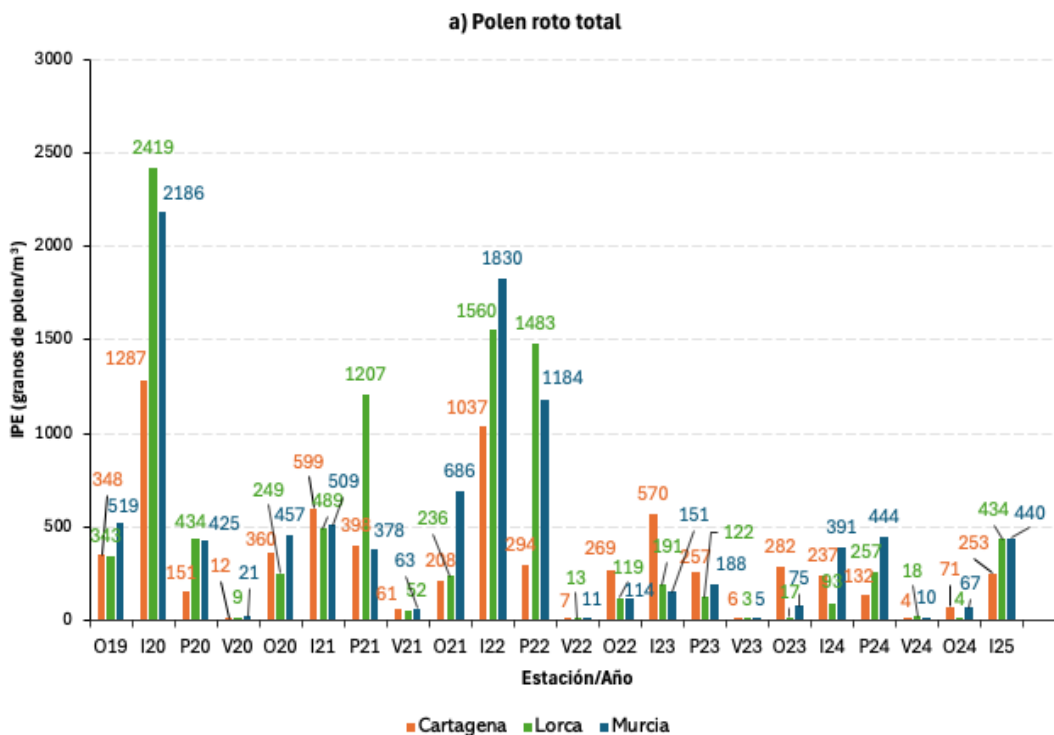


Figura 1 (continuación). Índices polínicos estacionales (IPE, granos de polen/m³) del total del polen roto (a), el polen roto de Cupressaceae (b) y el total del polen roto sin las Cupressaceae (c) en Cartagena (naranja), Lorca (verde) y Murcia (azul). Las abreviaturas del eje X combinan la inicial de la estación (I=invierno, P=primavera, V=verano, O=otoño) con los dos últimos dígitos del año correspondiente

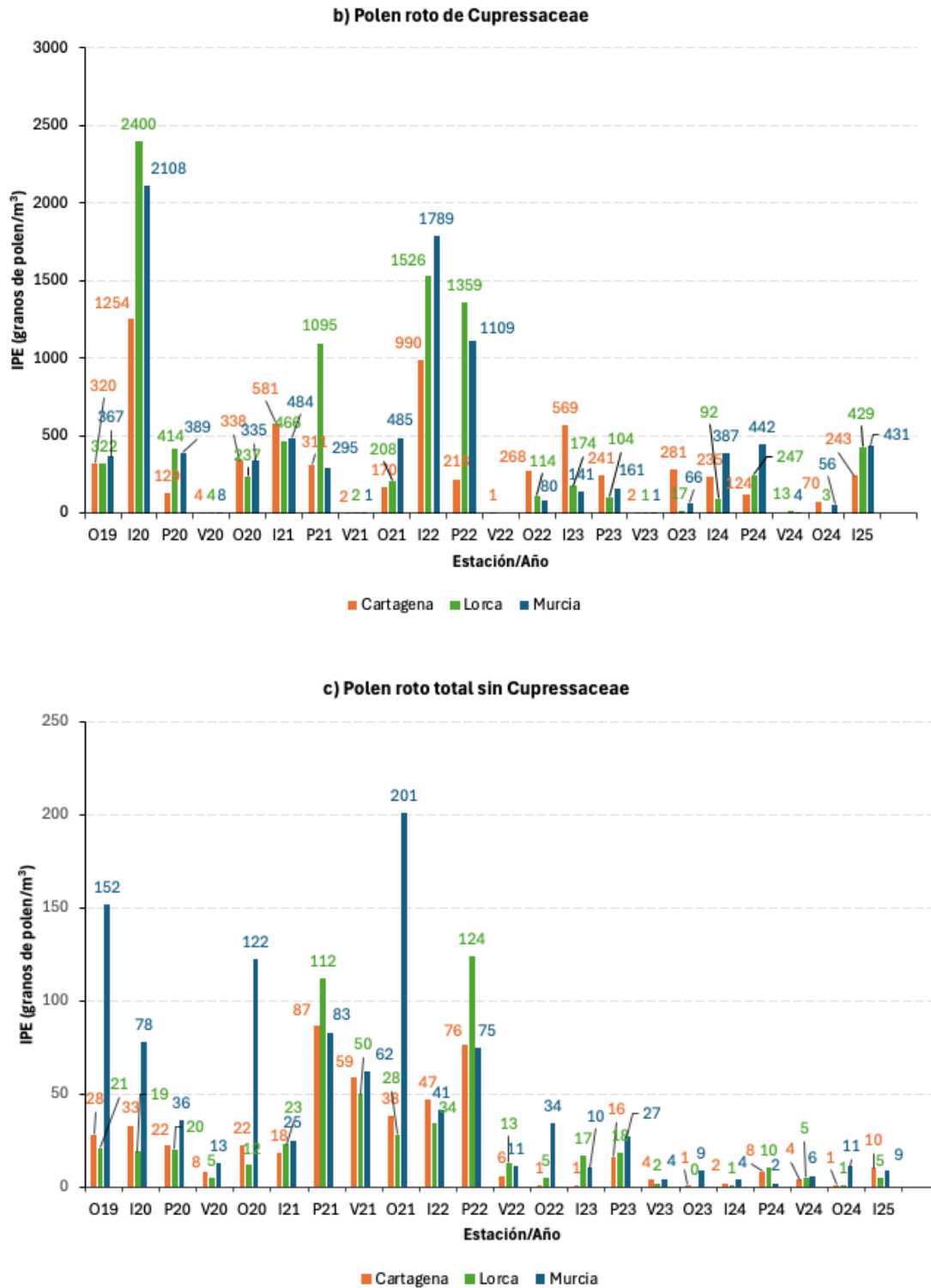


Tabla 5. Media de los IPA, granos/m³, del periodo invierno de 2019 a otoño de 2024 de las concentraciones de los tipos polínicos que aparecen rotos en el bioaerosol de la Región de Murcia y del polen roto de cada uno de ellos

Tipo polínico Media IPA Invierno 2019-Otoño 2024	Cartagena		Lorca		Murcia	
	Taxón	Roto	Taxón	Roto	Taxón	Roto
<i>Artemisia</i>	759	3	3 746	6	569	5
<i>Casuarina</i>	69	1	36	<1	5 543	62
Compuestas	86	<1	74	<1	75	<1
Cupressaceae	4 530	1 158	8 390	1 695	6 068	1 668
Amaranthaceae	2 771	17	3 826	18	2 010	17
<i>Olea</i>	4 246	5	7 989	5	3 187	5
Pinaceae	1 963	31	3 821	39	3 117	37
Poaceae	2 253	3	1 540	6	1 238	5
<i>Quercus</i>	2 332	<1	3 121	<1	1 630	1
<i>Rumex</i>	278	<1	143	<1	100	<1

DISCUSIÓN

Del conjunto de los tipos polínicos identificados en el bioaerosol de las tres ciudades de la Región de Murcia, 23 taxa en Cartagena y 25 en Lorca y Murcia son considerados mayoritarios. De estos tipos polínicos hasta 10 son identificados como alterados o rotos, pero reconocibles en las muestras. El número de tipos polínicos considerados como mayoritarios es variable y depende del umbral del IPA aplicado, en este sentido, otras regiones españolas como Toledo, identificaron 32 tipos polínicos en su bioaerosol y 9 se establecieron como los más representativos¹⁵, coincidiendo en muchos casos con los taxones documentados en la Región de Murcia. El tipo polínico que presenta una mayor frecuencia de alteraciones morfológicas es Cupressaceae (92,60 %). También hay que señalar que pueden encontrarse granos de polen tan alterados que resulta imposible su identificación. El segundo tipo polínico del que con mayor frecuencia se encuentran granos alterados es Pinaceae (2,19 %). En menor cantidad encontramos Amaranthaceae (1,07 %). El resto de los tipos polínicos identificados alterados muestran valores más bajos, aunque eventualmente puedan encontrarse mejor representados en años y lugares concretos; así ocurre con Poaceae en las tres ciudades en el periodo 2020-2021 (0,79 % en Cartagena; 0,55 % en Lorca; y 0,61 % en Murcia) y en Lorca 2021-2022 (0,57 %).

Si analizamos la estacionalidad en la intensidad de la presencia de polen roto, observamos que las mayores concentraciones se dan en las tres ciudades en invierno, seguido de la primavera, como consecuencia de la alta contribución del tipo polínico Cupressaceae. Cuando nos centramos en el polen roto sin considerar las Cupressaceae, la variabilidad espacial se deja notar, ya

que en Cartagena y Lorca las mayores concentraciones se alcanzan en primavera, mientras que en Murcia se registran en otoño. También es manifiesta la variabilidad temporal en las concentraciones de polen roto, observando concentraciones más bajas para 2022-2023 (sobre todo en Lorca y Murcia) y 2023-2024.

Los estudios sobre la ruptura de los granos de polen se han realizado desde diferentes perspectivas y no se encuentra bibliografía relacionada con la ruptura para todos los tipos polínicos aerovagantes encontrados rotos en la Región de Murcia.

Sometiendo a presión a granos de polen grandes de *Zea* (Poaceae), *Lilium* (Liliaceae), *Pinus*, *Crinum* (Amaryllidaceae) y *Epilobium* (Onagraceae) y pequeños de *Betula* (Betulaceae), *Ephedra*, *Tulipa* (Liliaceae), *Fagus* y *Typha* se llegó como conclusión principal a que la estructura de la exina es muy flexible, elástica y resistente¹⁶, se encontraron granos de polen rotos y fragmentados, con roturas visibles tanto a microscopía óptica como electrónica, incluso se encontraron exinas que contenían otros fragmentos de granos de polen como consecuencia de la presión ejercida. Sin embargo, los granos de polen recobraban su forma original a pesar de la compresión y las múltiples fracturas.

Muchos estudios se han centrado en la presencia de partículas paucimicrónicas de granos de polen tras tormentas, y la relación de su presencia con brotes de asma¹⁷⁻¹⁹, señalando que una tormenta en el Periodo Principal de Polinización aumenta por hidratación la ruptura de los granos de polen por choque osmótico, señalando a los granos de polen de las Poaceae y algunas plantas herbáceas, y las esporas de hongos de *Alternaria* y *Cladosporium*²⁰. Se provocó la producción

de estas partículas paucimicrónicas por choque osmótico en granos de polen de *Olea europaea*, *Phleum pratense*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Alnus glutinosa*, varias especies de la familia Cupressaceae y *Parietaria judaica*, concluyendo que los extractos de polen obtenidos por choque osmótico contienen alérgenos y podrían inducir crisis asmáticas durante las tormentas²¹, pero no se aporta información del análisis microscópico de los granos de polen para comprobar que se ha producido la ruptura. Algo similar ocurre en el estudio de liberación de partículas subpolínicas de granos de polen de *Quercus virginiana*²² en el que se realiza un recuento de las partículas clasificadas por tamaño, pero sin observación microscópica de los granos de polen rotos.

Para tres especies diferentes del género *Ambrosia* se realizaron experimentos para analizar el efecto de la lluvia y el viento en la emisión de partículas subpolínicas conteniendo alérgenos²³, en este trabajo se muestran fotografías a microscopía óptica de los materiales internos saliendo por las aperturas y granos de polen rotos tras los tratamientos realizados, concluyendo que el viento producía la liberación de partículas subpolínicas por ruptura del grano de polen, mientras que la lluvia producía la liberación a partir de las aperturas, indicando también un comportamiento diferente para cada una de las especies estudiadas.

En otro estudio, se sometieron granos de polen de *Platanus* a los contaminantes gaseosos NO₂ y O₃, encontrando que pueden dañar las cubiertas del grano de polen y aumentar la cantidad de alérgeno liberado a la atmósfera²⁴.

La capacidad del grano de polen a sufrir tensiones mecánicas y recuperarse coincide con la baja presencia de granos de polen rotos en las muestras reales en condiciones normales, tal como queda reflejado en nuestros resultados. De los tipos polínicos mayoritarios presentes en nuestro aerosol menos de la mitad los hemos encontrado alterados o rotos en las muestras. Los datos mostrados en la tabla 5 indican que solo para el tipo polínico Cupressaceae la presencia de granos de polen rotos es importante, porcentualmente supone más del 20 % del polen de este tipo polínico como media del IPA del periodo estudiado en las tres ciudades. Si hablamos porcentualmente, solo Pinaceae en las tres ciudades y *Casuarina* en Murcia y Cartagena muestran un porcentaje de granos rotos frente a la media del IPA que supera el 1 %.

Galveias y cols. (2021)²⁵ han abordado el comportamiento de ruptura del grano de polen de Cupressaceae en una estación aerobiológica en Évora, Portugal, durante eventos de tres semanas en dos años. Estudios ambientales en más de un emplazamiento simultáneamente, como las redes aerobiológicas y

durante más de un Periodo Principal de Polinización, se han descrito para el centro y sureste de la Península Ibérica¹³, atribuyendo a la humedad relativa, en gran medida, la ruptura de este tipo polínico en condiciones ambientales. Cuando Rezanejad (2009)²⁶ suspendió el grano en agua, la intina se hinchaba, reventando la exina, lo que estaría relacionado con la propia higroscopía de los polisacáridos de la intina, siendo aquellos responsables del aumento del volumen en experimentos de rehidratación. Sin embargo, en un estudio sobre la actividad NADPH oxidasa en granos de polen alérgicos de diferentes especies²⁷ se encontró que los granos de polen de las Cupressaceae se rompían cuando se suspendían en una solución tamponada con fosfato de Dulbecco sin calcio ni magnesio (PBS), pero no cuando se hacía en agua pura.

En cuanto al contenido en agua en el grano de polen de coníferas es escaso, con tan sólo el 5-10 %²⁸. Si bien el polen maduro de Cupressaceae contiene más agua, del orden del 30 %, haciéndolo un grano de polen difícil de preservar, particularmente cuando la humedad relativa está por encima del 10 %²⁹. Un bajo contenido de agua es favorable para la dispersión anemófila de los granos. La morfología del grano de polen de Cupressaceae se asemeja a un disco en el momento de la anthesis, al presentarse deshidratado³⁰. Durante el proceso reproductivo la hidratación e hinchamiento del grano de polen ocurre habitualmente en un día, cuando la gota polínica conduce el grano de polen a través del canal micropilar hacia el micropilo y la exina se revienta liberando el protoplasma. En pruebas de hidratación de este tipo polínico³¹ se describieron traslocación de alérgenos hacia el exterior y la pared de la intina, que asociaron a la germinación: hidratación de la intina, gelificación y degradación propias del desarrollo del tubo polínico. Proceso que además relacionaron con la fisiología de la reproducción en Cupressaceae, que implica la exudación de la gota polínica por el óvulo para captar el grano de polen aerovagante³². Por tanto, nos encontramos ante un tipo polínico que reúne cualidades como destacado vector alérgico, ya que en él confluyen propicios mecanismos de propagación y reproducción de las especies con la indispensable presencia de alérgenos.


Podemos concluir que la vigilancia aerobiológica juega un papel fundamental en el conocimiento de las concentraciones de aeroalérgenos. La información suministrada sobre tipos polínicos tendentes a la ruptura avanza en la explicación de las posibles causas del agravamiento de la enfermedad alérgica aun cuando el tamaño del grano de polen íntegro no pudiera alcanzar las vías respiratorias inferiores. En la atmósfera suroriental ibérica, destacamos el tipo polínico de Cupressaceae como propenso a la ruptura y por tanto a multiplicar la exposición del paciente alérgico. En la sistematización de la vigilancia aerobiológica recomendamos la inclusión de la caracterización de polen roto para este tipo polínico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha podido realizarse por la financiación recibida de la Fundación Séneca a través de la actuación 22550/PI/24, financiada por FS/10.13039/100007801; del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España a través del proyecto SICAAP-CPI RTI2018-096392-B-C21 y del Ayuntamiento de Murcia gracias al convenio 2024_AYTO.MURCIA-UPCT_ESTUDIOS AEROBIOLÓGICOS. Se agradece la labor técnica de Paula García López en la Red Aerobiológica de la Región de Murcia.

BIBLIOGRAFÍA

- Shahali Y, Pourpak Z, Moin M, et al. Impacts of air pollution exposure on the allergenic properties of Arizona cypress pollens. *J Phys: Conf Ser.* 1 de febrero de 2009;151:012027.
- Ramírez-Aliaga P, Foyo-Moreno I, Cariñanos P. Effects of environmental stress on the pollen viability of ornamental tree-species in the city of Granada (South-Eastern Spain). *Forests.* 2022;13(12):2131.
- Punt W, Hoen PP, Blackmore S, et al. Glossary of pollen and spore terminology. Review of Palaeobotany and Palynology. enero de 2007;143(1-2):1-81.
- Bortenschlager S. Aspects of pollen morphology in the cupressaceae. *Grana.* enero de 1990;29(2):129-38.
- Nilsson S, Prasglowski J, Nilsson L. Atlas of airborne pollen grains and spores in Northern Europe. Stockholm: Natur and Kultur; 1977.
- Suárez-Cervera M, Takahashi Y, Vega-Maray A, Seoane-Camba JA. Immunocytochemical localization of Cry j 1, the major allergen of *Cryptomeria japonica* (Taxodiaceae) in *Cupressus arizonica* and *Cupressus sempervirens* (Cupressaceae) pollen grains. *Sex Plant Reprod.* 2003;16(1):9-15.
- Wozniak MC, Solmon F, Steiner AL. Pollen rupture and its impact on precipitation in clean continental conditions. *Geophys Res Lett.* 2018;45(14):7156-64.
- Tavernini S, Kiaee M, Farina DJ, et al. Development of a filter that mimics tracheobronchial deposition of respirable aerosols in humans. *Aerosol Sci Technol.* 2019;53(7):802-16.
- Galán C, Cariñanos P, Alcázar P, Domínguez E. Manual de calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología, REA. Univ Córdoba. 2007;24:1-39.
- AENOR. UNE-EN 16868:2020 Aire ambiente. Muestreo y análisis de granos de polen y esporas de hongos transportados por el aire para las redes relacionadas con la alergia. Método volumétrico de Hirst. AENOR. Madrid; 2020.
- Oteros J, Galán C, Alcázar P, Domínguez-Vilches E. Quality control in bio-monitoring networks, Spanish Aerobiology Network. *Sci Total Environ.* 2013;443:559-65.
- Galán C, Ariatti A, Bonini M, et al. Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia.* 2017;33(3):293-5.
- Aznar F, Negral L, Moreno-Grau S, et al. Increased rupture of cypress pollen type due to atmospheric water in central and southeastern Spain. *Science of The Total Environment.* diciembre de 2024;954:176298.
- Rivas-Martínez S, Penas Á, del Río S, et al. Bioclimatology of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. En: Loidi J, editor. *The Vegetation of the Iberian Peninsula.* Cham: Springer; 2017. pp. 29-80.9. Rowley J, Skvarla J. The elasticity of the exine. *Grana.* enero de 2000;39(1):1-7.
- García-Mozo H, Pérez-Badía R, Fernández-González F, et al. Airborne pollen sampling in Toledo, Central Spain. *Aerobiologia.* 2006;22(1):55-66.
- Rowley J, Skvarla J. The elasticity of the exine. *Grana.* enero de 2000;39(1):1-7.
- D'Amato G. Airborne paucimicronic allergen-carrying particles and seasonal respiratory allergy. *Allergy.* diciembre de 2001;56(12):1109-11.
- Luedders J, Poole JA, Rorie AC. Extreme Weather Events and Asthma. *Immunology and Allergy Clinics of North America.* febrero de 2024;44(1):35-44.
- Pacheco SE, Guidos-Fogelbach G, Annesi-Maesano I, et al. Climate change and global issues in allergy and immunology. *Journal of Allergy and Clinical Immunology.* diciembre de 2021;148(6):1366-77.
- D'Amato G, Holgate ST, Pawankar R, et al. Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization. *World Allergy Organization Journal.* 2015;8:25.
- Cecchi L, Scala E, Caronni S, et al. Allergenicity at component level of subpollens particles from different sources obtained by osmolar shock: a molecular approach to thunderstorm-related asthma outbreaks. *Clin Exp Allergy.* 18 de octubre de 2020.
- Hendrickson BN, Alsante AN, Brooks SD. Live oak pollen as a source of atmospheric particles. *Aerobiologia.* marzo de 2023;39(1):51-67.
- Caronni S, Gentili R, Montagnani C, Citterio S. Subpollen particle release from different species of the invasive allergenic genus *Ambrosia*: the effect of rainwater composition and wind speed. *Aerobiologia.* diciembre de 2021;37(4):785-95.
- Zhou S, Wang X, Lu S, et al. Characterization of allergenicity of *Platanus* pollen allergen a 3 (Pla 3) after exposure to NO₂ and O₃. *Environmental Pollution.* junio de 2021;278:116913.
- Galveias A, Costa AR, Bortoli D, et al. Cupressaceae Pollen in the City of Évora, South of Portugal: Disruption of the Pollen during Air Transport Facilitates Allergen Exposure. *Forests.* 8 de enero de 2021;12(1):64.
- Rezanejad F. Air pollution effects on structure, proteins and flavonoids in pollen grains of *Thuja orientalis* L. (Cupressaceae). *Grana.* 10 de septiembre de 2009;48(3):205-13.
- Wang XL, Takai T, Kamijo S, et al. NADPH oxidase activity in allergenic pollen grains of different plant species. *Biochemical and Biophysical Research Communications.* septiembre de 2009;387(3):430-4.
- Owens JN, Takaso T, Runions CJ. Pollination in conifers. *Trends in Plant Science.* diciembre de 1998;3(12):479-85.
- Fernando DD, Lazzaro MD, Owens JN. Growth and development of conifer pollen tubes. *Sex Plant Reprod.* diciembre de 2005;18(4):149-62.
- Chichiriccò G, Pacini E. *Cupressus arizonica* pollen wall zonation and in vitro hydration. *Plant Syst Evol.* febrero de 2008;270(3-4):231-42.

- 
31. Suárez-Cervera M, Takahashi Y, Vega-Maray A, Seoane-Camba JA. Immunocytochemical Localization of Cry J 1, the Major Allergen of *Cryptomeria Japonica* (taxodiaceae) in *Cupressus Arizonica* and *Cupressus Sempervirens* (cupressaceae) Pollen Grains. *Sex Plant Reprod.* mayo de 2003;16(1):9-15.
 32. Doyle, J. Developmental lines in pollination mechanisms in the Coniferales. *Sci Proc R Dublin Soc.* 1945;24:43-62.