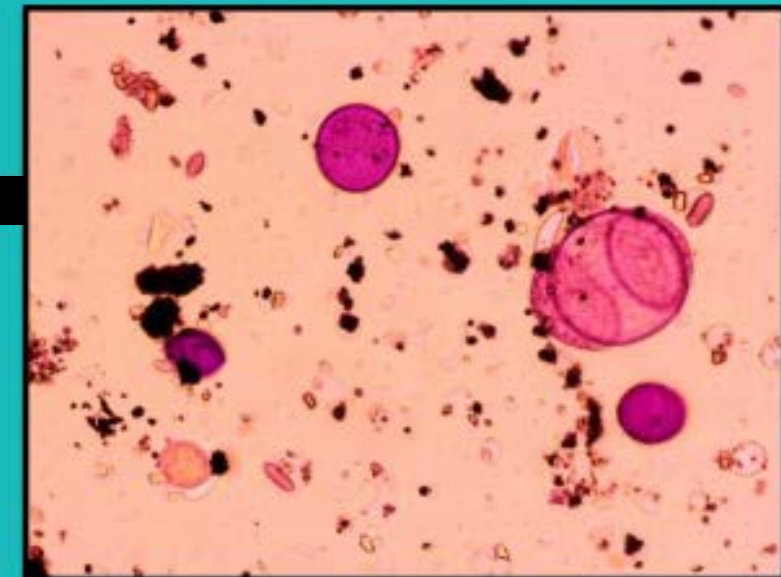




Dorra Gharbi (2018)

**Tesis Doctoral**  
**Dorra Gharbi, 2018**

**Evolución del comportamiento de los diferentes tipos polínicos en la atmósfera de Málaga (1991-2015): su relación con los parámetros meteorológicos y cambio climático**



Tesis Doctoral

**Directora: M<sup>a</sup> del Mar Trigo Pérez**

**Programa de doctorado: "Diversidad Biológica y Medio Ambiente"**



## TESIS DOCTORAL

*Evolución del comportamiento de los diferentes tipos polínicos en la atmósfera de Málaga (1991-2015): su relación con los parámetros meteorológicos y cambio climático*

**Doctoranda:** Dorra Gharbi

**Tutora y Directora:** Dra. María del Mar Trigo Pérez

**Programa de Doctorado:** “Diversidad Biológica y Medio Ambiente”


Facultad de Ciencias

Universidad de Málaga



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

AUTOR: Dorra Gharbi

 <http://orcid.org/0000-0003-3013-6876>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): [riuma.uma.es](http://riuma.uma.es)



**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA VEGETAL**

*Evolución del comportamiento de los diferentes tipos polínicos  
en la atmósfera de Málaga (1991-2015): Su relación con los  
parámetros meteorológicos y cambio climático*

**Tesis Doctoral**

**Dorra Gharbi**

**Málaga, 2018**





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



*A mis padres*

*Abdelaziz y Raoudha*



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## *Agradecimientos*

Ha llegado la hora de la culminación de un sueño que, desde siempre, me había parecido imposible de conseguir y que, gracias al apoyo de considerables personas cargadas de paciencia está próxima a hacerse realidad. Esta tesis doctoral, ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por la parte de mi directora de Tesis, la Dra. M. Mar Trigo, a quien agradezco el haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo bajo su experta dirección, su ayuda y apoyo directo durante el periodo de investigación y escritura. Quiero expresar también mi sincero agradecimiento a todos los miembros del departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga, en particular a Dra. Marta Recio, Dr. José García Sánchez, y al doctorando Antonio Picornell Rodríguez, por brindarme su ayuda y amistad desde el primer momento de mi llegada. A Dra. Laura Sadori, al Dr. Alessandro Travaglini quienes durante mi estancia en Roma (Italia) me acogieron como a una más y me hicieron sentir como en casa, sobre todo por los intercambios científicos y los buenos momentos vividos. A la Dra. María Antonia Brighetti, la investigadora que trabajó conmigo, que me transmitió su espíritu investigador y su calidad como persona.

Finalmente agradezco a mi familia, y muy especialmente a mis padres Raoudha y Abdelaziz, porque a pesar de no estar conmigo presentes físicamente, sé que procuran por mi bienestar desde mi país, Túnez, y está claro que, si no fuese por la confianza que siempre han depositado en mí, el interés y apoyo realizado por ellos durante estos últimos años, la realización de esta tesis no hubiera sido posible. Este título es uno más de los frutos a toda una vida dedicada a la educación de sus hijos, sin su inconmensurable ayuda jamás podría haber llegado a este punto, espero que les llene de orgullo, ¡mil y mil gracias!

A todos mis amigos de diferentes zonas del mundo que han vivido conmigo la realización de esta tesis doctoral, con sus altos y bajos, les agradezco el haberme brindado el apoyo, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

Esta tesis se ha realizado en el contexto del proyecto titulado “Estudio de tendencias fenológicas en plantas del Mediterráneo occidental y su relación con el cambio climático” financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (CGL2014-54731-R).





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA





|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....                                     | 21 |
| 1.1. AEROBIOLOGÍA.....   | 23 |
| 1.1.1. Definición y antecedentes históricos.....                 | 23 |
| 1.1.2. La Aerobiología en España y Málaga.....                   | 25 |
| 1.2. EL GRANO DE POLEN.....                                      | 26 |
| 1.3. PROCESOS AEROBIOLÓGICOS.....                                | 28 |
| 1.3.1. Fuente emisora.....                                       | 28 |
| 1.3.2. Liberación.....   | 29 |
| 1.3.3. Transporte y dispersión.....                              | 29 |
| 1.3.4. Deposición e impacto.....                                 | 29 |
| 1.3.5. Resuspensión.....   | 29 |
| 1.4. PRINCIPALES APLICACIONES DE LA AEROBIOLOGÍA.....            | 30 |
| 1.4.1. Medicina.....   | 30 |
| 1.4.2. Agricultura.....  | 31 |
| 1.4.3. Ecología.....   | 31 |
| 1.4.4. Fenología.....  | 32 |
| 1.4.5. Criminología.....   | 32 |
| 1.5. INFLUENCIA DE LA CLIMATOLOGÍA EN LA DINÁMICA DEL POLEN..... | 32 |
| 1.5.1. Factores primarios.....                                   | 32 |
| 1.5.2. Factores secundarios.....                                 | 33 |
| 1.5.3. Factores terciarios.....                                  | 33 |
| 1.6. PERÍODO DE POLINACIÓN PRINCIPAL.....                        | 34 |
| 1.7. LA AEROBIOLOGÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.....                  | 36 |
| 1.7.1. Tendencia del periodo de polinación principal.....        | 36 |
| 1.7.2. Producción de polen por las plantas.....                  | 37 |
| 1.7.3. Polen y actividad alérgica.....                           | 37 |
| 1.8. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....                    | 38 |
| 1.8.1. Situación geográfica.....                                 | 38 |
| 1.8.2. Biogeografía.....   | 38 |
| 1.8.3. Climatología.....   | 39 |
| 1.8.4. Vegetación.....   | 40 |
| <b>2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b> .....                        | 43 |
| 2.1. Justificación.....  | 45 |
| 2.2. Objetivos.....  | 46 |
| <b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....                               | 47 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.1. MUESTREO AEROBIOLÓGICO.....   | 49        |
| 3.1.1. Características de la estación de muestreo .....                      | 49        |
| 3.1.2. El muestreador de tipo Hirst.....                                     | 49        |
| 3.1.3. Sustancia adhesiva.....   | 50        |
| 3.2. PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LAS MUESTRAS DIARIAS .....                     | 50        |
| 3.3. ANÁLISIS CUALITATIVO.....   | 51        |
| 3.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO.....  | 51        |
| 3.5. TRATAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS POLÍNICOS .....                 | 53        |
| 3.5.1. Variación interanual y estacional .....                               | 53        |
| 3.5.2. Periodo de Polinación Principal (PPP).....                            | 54        |
| 3.5.3. Variación intradiaria.....  | 55        |
| 3.5.4. Análisis de las tendencias de los parámetros que definen el PPP ..... | 55        |
| 3.5.5. Modelos de pronóstico .....   | 57        |
| 3.5.6. Validación del mejor modelo de pronóstico.....                        | 57        |
| 3.5.7. Calendario polínico .....   | 58        |
| 3.6. OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS.....                | 58        |
| 3.7. PROGRAMAS INFORMÁTICOS EMPLEADOS .....                                  | 60        |
| <b>4. RESULTADOS.....</b>  | <b>61</b> |
| 4.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS .....                              | 63        |
| 4.1.1. Temperatura.....  | 63        |
| 4.1.2. Precipitación.....  | 66        |
| 4.1.3. Insolación .....  | 69        |
| 4.1.4. Humedad relativa .....  | 70        |
| 4.1.5. Velocidad y dirección del viento.....                                 | 71        |
| 4.1.6. Discusión.....  | 75        |
| 4.2. ANÁLISIS DEL ESPECTRO POLÍNICO TOTAL .....                              | 77        |
| 4.2.1. Discusión.....  | 81        |
| 4.3. TIPOS POLÍNICOS PRINCIPALES.....  | 85        |
| 4.3.1. Tipo polínico <i>Casuarina</i> .....                                  | 85        |
| 4.3.1.1. Descripción botánica .....  | 85        |
| 4.3.1.2. Época de floración/polinización .....                               | 85        |
| 4.3.1.3. Morfología polínica .....   | 85        |
| 4.3.1.4. Variación interanual .....  | 86        |
| 4.3.1.5. Variación estacional .....  | 86        |
| 4.3.1.6. Periodo de Polinación Principal .....                               | 88        |
| 4.3.1.7. Estudio de tendencias .....   | 93        |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.1.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 97  |
| 4.3.1.9. Análisis de autocorrelaciones.....                             | 98  |
| 4.3.1.10. Modelos de pronóstico .....                                   | 99  |
| 4.3.1.11. Variación intradiaria.....                                    | 101 |
| 4.3.1.12. Discusión.....  | 104 |
| 4.3.2. Tipo polínico Chenopodiaceae-Amaranthaceae.....                  | 107 |
| 4.3.2.1. Descripción botánica .....                                     | 107 |
| 4.3.2.2. Época de floración/polinización.....                           | 107 |
| 4.3.2.3. Morfología polínica.....                                       | 107 |
| 4.3.2.4. Variación interanual .....                                     | 107 |
| 4.3.2.5. Variación estacional .....                                     | 108 |
| 4.3.2.6. Periodo de Polinación Principal .....                          | 110 |
| 4.3.2.7. Estudio de tendencias .....                                    | 115 |
| 4.3.2.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 119 |
| 4.3.2.9. Análisis de autocorrelaciones.....                             | 121 |
| 4.3.2.10. Modelos de pronóstico .....                                   | 121 |
| 4.3.2.11. Variación intradiaria.....                                    | 123 |
| 4.3.2.12. Discusión.....  | 126 |
| 4.3.3. Tipo polínico Cupressaceae.....                                  | 131 |
| 4.3.3.1. Descripción botánica .....                                     | 131 |
| 4.3.3.2. Época de floración/polinización.....                           | 131 |
| 4.3.3.3. Morfología polínica.....                                       | 131 |
| 4.3.3.4. Variación interanual .....                                     | 131 |
| 4.3.3.5. Variación estacional .....                                     | 132 |
| 4.3.3.6. Periodo de polinación principal.....                           | 137 |
| 4.3.3.7. Estudio de tendencias .....                                    | 137 |
| 4.3.3.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 143 |
| 4.3.3.9. Análisis de autocorrelaciones.....                             | 143 |
| 4.3.3.10. Modelos de pronóstico .....                                   | 145 |
| 4.3.3.11. Variación intradiaria.....                                    | 146 |
| 4.3.3.12. Discusión.....  | 147 |
| 4.3.4. Tipo polínico Myrtaceae .....                                    | 153 |
| 4.3.4.1. Descripción botánica .....                                     | 153 |
| 4.3.4.2. Periodo de floración/polinización.....                         | 153 |
| 4.3.4.3. Morfología polínica.....                                       | 153 |
| 4.3.4.4. Variación interanual .....                                     | 153 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.4.5. Variación estacional .....                                     | 154 |
| 4.3.4.6. Periodo de polinación principal.....                           | 159 |
| 4.3.4.7. Estudio de tendencias .....                                    | 161 |
| 4.3.4.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 165 |
| 4.3.4.9. Análisis de autocorrelaciones.....                             | 165 |
| 4.3.4.10. Modelos de pronósticos.....                                   | 167 |
| 4.3.4.11. Variación intradiaria.....                                    | 168 |
| 4.3.4.12. Discusión.....  | 169 |
| 4.3.5. Tipo polínico <i>Olea</i> .....                                  | 175 |
| 4.3.5.1. Descripción botánica .....                                     | 175 |
| 4.3.5.2. Época de floración/polinización .....                          | 175 |
| 4.3.5.3. Morfología polínica .....                                      | 175 |
| 4.3.5.4. Variación interanual .....                                     | 175 |
| 4.3.5.5. Variación estacional .....                                     | 176 |
| 4.3.5.6. Periodo de Polinación Principal .....                          | 178 |
| 4.3.5.7. Estudio de tendencias .....                                    | 183 |
| 4.3.5.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 187 |
| 4.3.5.9. Análisis de autocorrelaciones.....                             | 188 |
| 4.3.5.10. Modelos de pronóstico .....                                   | 189 |
| 4.3.5.11. Variación Intradiaria.....                                    | 191 |
| 4.3.5.12. Discusión.....  | 191 |
| 4.3.6. El tipo polínico <i>Parietaria</i> .....                         | 199 |
| 4.3.6.1. Descripción botánica .....                                     | 199 |
| 4.3.6.2. Época de floración/polinización .....                          | 199 |
| 4.3.6.3. Morfología polínica .....                                      | 199 |
| 4.3.6.4. Variación interanual .....                                     | 199 |
| 4.3.6.5. Variación estacional .....                                     | 200 |
| 4.3.6.6. Periodo de Polinación Principal .....                          | 202 |
| 4.3.6.7. Estudio de tendencias .....                                    | 207 |
| 4.3.6.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 211 |
| 4.3.6.9. Análisis de autocorrelaciones.....                             | 211 |
| 4.3.6.10. Modelos de pronóstico .....                                   | 213 |
| 4.3.6.11. Variación intradiaria.....                                    | 214 |
| 4.3.6.12. Discusión.....  | 215 |
| 4.3.7. Tipo polínico <i>Pinus</i> .....                                 | 221 |
| 4.3.7.1. Descripción botánica .....                                     | 221 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3.7.2. Época de floración/polinización .....                             | 221 |
| 4.3.7.3. Morfología polínica .....   | 221 |
| 4.3.7.4. Variación interanual .....  | 221 |
| 4.3.7.5. Variación estacional .....  | 222 |
| 4.3.7.6. Periodo de polinación principal.....                              | 224 |
| 4.3.7.7. Estudio de tendencias .....                                       | 229 |
| 4.3.7.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos.....    | 233 |
| 4.3.7.9. Análisis de autocorrelaciones .....                               | 233 |
| 4.3.7.10. Modelos de pronóstico .....                                      | 235 |
| 4.3.7.11. Variación intradiaria.....                                       | 236 |
| 4.3.7.12. Discusión.....   | 237 |
| 4.3.8. Tipo polínico <i>Plantago</i> .....                                 | 243 |
| 4.3.8.1. Descripción botánica .....  | 243 |
| 4.3.8.2. Época de la floración/polinización .....                          | 243 |
| 4.3.8.3. Morfología polínica .....   | 243 |
| 4.3.8.4. Variación interanual .....  | 243 |
| 4.3.8.5. Variación estacional .....  | 244 |
| 4.3.8.6. Periodo de polinación principal.....                              | 250 |
| 4.3.8.7. Estudio de tendencias .....                                       | 250 |
| 4.3.8.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos.....    | 255 |
| 4.3.8.9. Análisis de autocorrelaciones .....                               | 255 |
| 4.3.8.10. Modelos de pronóstico .....                                      | 257 |
| 4.3.8.11. Variación intradiaria.....                                       | 258 |
| 4.3.8.12. Discusión.....   | 259 |
| 4.3.9. Tipo polínico <i>Platanus</i> .....                                 | 265 |
| 4.3.9.1. Descripción botánica .....  | 265 |
| 4.3.9.2. Época de floración/polinización .....                             | 265 |
| 4.3.9.3. Morfología polínica .....   | 265 |
| 4.3.9.4. Variación interanual .....  | 265 |
| 4.3.9.5. Variación estacional .....  | 266 |
| 4.3.9.6. Periodo de Polinación Principal .....                             | 268 |
| 4.3.9.7. Estudio de tendencias .....                                       | 273 |
| 4.3.9.8. Análisis de correlaciones con los parámetros meteorológicos ..... | 277 |
| 4.3.9.9. Análisis de autocorrelaciones .....                               | 278 |
| 4.3.9.10. Modelos de pronóstico .....                                      | 279 |
| 4.3.9.11. Variación intradiaria.....                                       | 281 |



|  |     |
|--|-----|
| 4.3.9.12. Discusión.....   | 281 |
| 4.3.10. Tipo polínico <i>Poaceae</i> .....                               | 287 |
| 4.3.10.1. Descripción botánica .....                                     | 287 |
| 4.3.10.2. Época de floración/polinización .....                          | 287 |
| 4.3.10.3. Morfología polínica .....                                      | 287 |
| 4.3.10.4. Variación interanual .....                                     | 287 |
| 4.3.10.5. Variación estacional .....                                     | 288 |
| 4.3.10.6. Periodo de Polinación Principal .....                          | 290 |
| 4.3.10.7. Estudio de tendencias .....                                    | 295 |
| 4.3.10.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 299 |
| 4.3.10.9. Análisis de autocorrelaciones .....                            | 300 |
| 4.3.10.10. Modelos de pronóstico .....                                   | 301 |
| 4.3.10.11. Variación intradiaria.....                                    | 303 |
| 4.3.10.12. Discusión.....  | 303 |
| 4.3.11. Tipo polínico <i>Quercus</i> .....                               | 311 |
| 4.3.11.1. Descripción botánica .....                                     | 311 |
| 4.3.11.2. Época de floración/polinización .....                          | 311 |
| 4.3.11.3. Morfología polínica .....                                      | 311 |
| 4.3.11.4. Variación interanual .....                                     | 311 |
| 4.3.11.5. Variación estacional .....                                     | 312 |
| 4.3.11.6. Periodo de Polinación Principal .....                          | 314 |
| 4.3.11.7. Estudio de tendencias .....                                    | 319 |
| 4.3.11.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 323 |
| 4.3.11.9. Análisis de autocorrelaciones .....                            | 323 |
| 4.3.11.10. Modelos de pronóstico .....                                   | 325 |
| 4.3.11.11. Variación intradiaria.....                                    | 326 |
| 4.3.11.12. Discusión.....  | 327 |
| 4.3.12. Tipo polínico <i>Rumex</i> .....                                 | 333 |
| 4.3.12.1. Descripción botánica .....                                     | 333 |
| 4.3.12.2. Época de floración/polinización .....                          | 333 |
| 4.3.12.3. Morfología polínica .....                                      | 333 |
| 4.3.12.4. Variación interanual .....                                     | 333 |
| 4.3.12.5. Variación estacional .....                                     | 334 |
| 4.3.12.6. Periodo de polinación principal.....                           | 340 |
| 4.3.12.7. Estudio de tendencias .....                                    | 340 |
| 4.3.12.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos..... | 345 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3.12.9. Análisis de autocorrelaciones .....         | 346 |
| 4.3.12.10. Modelos de pronóstico .....                | 346 |
| 4.3.12.11. Variación intradiaria .....                | 348 |
| 4.3.12.12. Discusión .....                            | 349 |
| 4.3.13. Tipo polínico <i>Urtica membranacea</i> ..... | 355 |
| 4.3.13.1. Descripción botánica .....                  | 355 |
| 4.3.13.2. Periodo de floración/polinización.....      | 355 |
| 4.3.13.3. Morfología polínica .....                   | 355 |
| 4.3.13.4. Variación interanual .....                  | 355 |
| 4.3.13.5. Variación estacional .....                  | 356 |
| 4.3.13.6. Periodo de polinación principal.....        | 358 |
| 4.3.13.7. Estudio de tendencias .....                 | 362 |
| 4.3.13.8. Análisis de correlación .....               | 366 |
| 4.3.13.9. Análisis de autocorrelaciones .....         | 367 |
| 4.3.13.10. Modelos de pronóstico .....                | 368 |
| 4.3.13.11. Variación intradiaria .....                | 370 |
| 4.3.13.12. Discusión.....                             | 370 |
| 4.4. TIPOS POLÍNICOS SECUNDARIOS .....                | 377 |
| 4.4.1. Tipo polínico <i>Artemisia</i> .....           | 377 |
| 4.4.1.1. Descripción botánica .....                   | 377 |
| 4.4.1.2. Época de floración/polinización .....        | 377 |
| 4.4.1.3. Morfología polínica.....                     | 377 |
| 4.4.1.4. Variación interanual .....                   | 377 |
| 4.4.1.5. Variación estacional .....                   | 378 |
| 4.4.1.6. Estudio de tendencia.....                    | 383 |
| 4.4.1.7. Discusión.....                               | 383 |
| 4.4.2. Tipo polínico <i>Compositae</i> .....          | 387 |
| 4.4.2.1. Descripción botánica .....                   | 387 |
| 4.4.2.2. Época floración/polanización .....           | 387 |
| 4.4.2.3. Morfología polínica.....                     | 387 |
| 4.4.2.4. Variación interanual .....                   | 387 |
| 4.4.2.5. Variación estacional .....                   | 388 |
| 4.4.2.6. Estudio de tendencia.....                    | 393 |
| 4.4.2.7. Discusión.....                               | 393 |
| 4.4.3. Tipo polínico <i>Mercurialis</i> .....         | 395 |
| 4.4.3.1. Descripción botánica .....                   | 395 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.4.3.2. Periodo de floración/polinización..... | 395 |
| 4.4.3.3. Morfología polínica.....               | 395 |
| 4.4.3.4. Variación interanual .....             | 395 |
| 4.4.3.5. Variación estacional .....             | 396 |
| 4.4.3.6. Estudio de tendencia.....              | 401 |
| 4.4.3.7. Discusión.....                         | 401 |
| 4.4.4. Tipo polínico Palmae.....                | 403 |
| 4.4.4.1. Descripción botánica .....             | 403 |
| 4.4.4.2. Época de floración/polinización.....   | 403 |
| 4.4.4.3. Morfología polínica.....               | 403 |
| 4.4.4.4. Variación interanual .....             | 403 |
| 4.4.4.5. Variación estacional .....             | 404 |
| 4.4.4.6. Estudio de tendencia.....              | 409 |
| 4.4.4.7. Discusión.....                         | 409 |
| 4.5. TIPOS POLÍNICOS MINORITARIOS .....         | 411 |
| 4.5.1. Tipo polínico Apiaceae .....             | 411 |
| 4.5.1.1. Descripción botánica .....             | 411 |
| 4.5.1.2. Época de floración/polinización .....  | 411 |
| 4.5.1.3. Morfología polínica.....               | 411 |
| 4.5.1.4. Variación interanual .....             | 411 |
| 4.5.1.5. Variación estacional .....             | 412 |
| 4.5.1.6. Estudio de tendencia.....              | 413 |
| 4.5.1.7. Discusión.....                         | 413 |
| 4.5.2. Tipo polínico Brassicaceae.....          | 414 |
| 4.5.2.1. Descripción bótánica .....             | 414 |
| 4.5.2.2. Época de floración/polinización.....   | 415 |
| 4.5.2.3. Morfología polínica.....               | 415 |
| 4.5.2.4. Variación interanual .....             | 415 |
| 4.5.2.5. Variación estacional .....             | 415 |
| 4.5.2.6. Estudio de tendencia.....              | 417 |
| 4.5.2.7. Discusión.....                         | 417 |
| 4.5.3. Tipo polínico <i>Cannabis</i> .....      | 418 |
| 4.5.3.1. Descripción botánica .....             | 418 |
| 4.5.3.2. Época de floración/ polinización.....  | 419 |
| 4.5.3.3. Morfología polínica.....               | 419 |
| 4.5.3.4. Variación interanual .....             | 419 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.5.3.5. Variación estacional .....            | 419 |
| 4.5.3.6. Estudio de tendencia.....             | 420 |
| 4.5.3.7. Discusión.....                        | 421 |
| 4.5.4. Tipo polínico <i>Castanea</i> .....     | 422 |
| 4.5.4.1. Descripción botánica .....            | 422 |
| 4.5.4.2. Época de floración/polinización ..... | 422 |
| 4.5.4.3. Morfología polínica.....              | 422 |
| 4.5.4.4. Variación interanual .....            | 423 |
| 4.5.4.5. Variación estacional .....            | 423 |
| 4.5.4.6. Estudio de tendencia.....             | 424 |
| 4.5.4.7. Discusión.....                        | 425 |
| 4.5.5. Tipo polínico Cyperaceae.....           | 426 |
| 4.5.5.1. Descripción botánica .....            | 426 |
| 4.5.5.2. Epoca de floración/polinización ..... | 426 |
| 4.5.5.3. Morfología polínica.....              | 426 |
| 4.5.5.4. Variación interanual .....            | 427 |
| 4.5.5.5. Variación estacional .....            | 428 |
| 4.5.5.6. Estudio de tendencia.....             | 428 |
| 4.5.5.7. Discusión.....                        | 429 |
| 4.5.6. Tipo polínico <i>Echium</i> .....       | 430 |
| 4.5.6.1. Descripción bótanica .....            | 430 |
| 4.5.6.2. Época de floración/polinización ..... | 430 |
| 4.5.6.3. Morfología polínica.....              | 430 |
| 4.5.6.4. Variación interanual .....            | 431 |
| 4.5.6.5. Variación estacional .....            | 432 |
| 4.5.6.6. Estudio de tendencia.....             | 432 |
| 4.5.6.7. Discusión.....                        | 433 |
| 4.5.7. Tipo polínico Ericaceae.....            | 434 |
| 4.5.7.1. Descripción botánica .....            | 434 |
| 4.5.7.2. Época de floración/polinización ..... | 434 |
| 4.5.7.3. Morfología polínica.....              | 434 |
| 4.5.7.4. Variación interanual .....            | 435 |
| 4.5.7.5. Variación estacional .....            | 435 |
| 4.5.7.6. Estudio de tendencia.....             | 436 |
| 4.5.7.7. Discusión.....                        | 437 |
| 4.5.8. Tipo polínico <i>Fraxinus</i> .....     | 438 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.5.8.1. Descripción botánica .....             | 438 |
| 4.5.8.2. Época de floración/polinización .....  | 438 |
| 4.5.8.3. Morfología polínica .....              | 438 |
| 4.5.8.4. Variación interanual .....             | 438 |
| 4.5.8.5. Variación estacional .....             | 439 |
| 4.5.8.6. Estudio de tendencia.....              | 440 |
| 4.5.8.7. Discusión.....                         | 441 |
| 4.5.9. Tipo polínico <i>Morus</i> .....         | 442 |
| 4.5.9.1. Descripción botánica .....             | 442 |
| 4.5.9.2. Época floración/polinización.....      | 442 |
| 4.5.9.3. Morfología polínica .....              | 442 |
| 4.5.9.4. Variación interanual .....             | 442 |
| 4.5.9.5. Variación estacional .....             | 443 |
| 4.5.9.6. Estudio de tendencia.....              | 444 |
| 4.5.9.7. Discusión.....                         | 445 |
| 4.5.10. Tipo polínico <i>Parkinsonia</i> .....  | 446 |
| 4.5.10.1. Descripción botánica .....            | 446 |
| 4.5.10.2. Época de floración/polinización ..... | 446 |
| 4.5.10.3. Morfología polínica .....             | 446 |
| 4.5.10.4. Variación interanual .....            | 446 |
| 4.5.10.5. Variación estacional .....            | 447 |
| 4.5.10.6. Estudio de tendencia.....             | 448 |
| 4.5.10.7. Discusión.....                        | 449 |
| 4.5.11. Tipo polínico <i>Pistacia</i> .....     | 450 |
| 4.5.11.1. Descripción botánica .....            | 450 |
| 4.5.11.2. Época de floración/polinización ..... | 450 |
| 4.5.11.3. Morfología polínica .....             | 450 |
| 4.5.11.4. Variación interanual .....            | 450 |
| 4.5.11.5. Variación estacional .....            | 451 |
| 4.5.11.6. Estudio de tendencia.....             | 452 |
| 4.5.11.7. Discusión.....                        | 453 |
| 4.5.12. Tipo polínico <i>Populus</i> .....      | 454 |
| 4.5.12.1. Descripción botánica .....            | 454 |
| 4.5.12.2. Época de floración/polinización ..... | 454 |
| 4.5.12.3. Morfología polínica .....             | 455 |
| 4.5.12.4. Variación interanual .....            | 455 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.5.12.5. Variación estacional .....            | 455 |
| 4.5.12.6. Estudio de tendencia.....             | 457 |
| 4.5.12.7. Discusión.....                        | 457 |
| 4.5.13. Tipo polínico <i>Ricinus</i> .....      | 458 |
| 4.5.13.1. Descripción botánica .....            | 459 |
| 4.5.13.2. Época de floración/polinización ..... | 459 |
| 4.5.13.3. Morfología polínica .....             | 459 |
| 4.5.13.4. Variación interanual .....            | 459 |
| 4.5.13.5. Variación estacional .....            | 459 |
| 4.5.13.6. Estudio de tendencia.....             | 461 |
| 4.5.13.7. Discusión.....                        | 461 |
| 4.5.14. Tipo polínico <i>Typha</i> .....        | 462 |
| 4.5.14.1. Descripción botánica .....            | 462 |
| 4.5.14.2. Época de floración/polinización ..... | 462 |
| 4.5.14.3. Morfología polínica .....             | 463 |
| 4.5.14.4. Variación interanual .....            | 463 |
| 4.5.14.5. Variación estacional .....            | 464 |
| 4.5.14.6. Estudio de tendencia.....             | 464 |
| 4.5.14.7. Discusión.....                        | 465 |
| 4.6. TIPOS POLÍNICOS RAROS.....                 | 467 |
| 4.6.1. Tipo polínico <i>Alnus</i> .....         | 467 |
| 4.6.1.1. Descripción botánica .....             | 467 |
| 4.6.1.2. Época de floración/polinización .....  | 467 |
| 4.6.1.3. Morfología polínica .....              | 467 |
| 4.6.1.4. Variación interanual .....             | 467 |
| 4.6.1.5. Variación estacional .....             | 468 |
| 4.6.1.6. Estudio de tendencia.....              | 469 |
| 4.6.1.7. Discusión.....                         | 469 |
| 4.6.2. Tipo polínico <i>Betula</i> .....        | 470 |
| 4.6.2.1. Descripción botánica .....             | 470 |
| 4.6.2.2. Época de floración/ polinización ..... | 471 |
| 4.6.2.3. Morfología polínica .....              | 471 |
| 4.6.2.4. Variación interanual .....             | 471 |
| 4.6.2.5. Variación estacional .....             | 471 |
| 4.6.2.6. Estudio de tendencia.....              | 472 |
| 4.6.2.7. Discusión.....                         | 473 |

|  |            |
|--|------------|
| 4.6.3. Tipo polínico <i>Ligustrum</i> .....  | 474        |
| 4.6.3.1. Descripción botánica .....  | 474        |
| 4.6.3.2. Época de floración/ polinización .....  | 474        |
| 4.6.3.3. Morfología polínica .....   | 474        |
| 4.6.3.4. Variación interanual .....  | 474        |
| 4.6.3.5. Variación estacional .....  | 475        |
| 4.6.3.6. Estudio de tendencia.....   | 476        |
| 4.6.3.7. Discusión .....   | 476        |
| 4.6.4. Tipo polínico <i>Salix</i> .....  | 477        |
| 4.6.4.1. Descripción botánica .....  | 477        |
| 4.6.4.2. Época de floración/polinización .....   | 477        |
| 4.6.4.3. Morfología polínica .....   | 477        |
| 4.6.4.4. Variación interanual .....  | 477        |
| 4.6.4.5. Variación estacional .....  | 478        |
| 4.6.4.6. Estudio de tendencia.....   | 479        |
| 4.6.4.7. Discusión .....   | 479        |
| 4.6.5. Tipo polínico <i>Ulmus</i> .....  | 480        |
| 4.6.5.1. Descripción botánica .....  | 480        |
| 4.6.5.2. Época de floración.....   | 481        |
| 4.6.5.3. Morfología polínica .....   | 481        |
| 4.6.5.4. Variación interanual .....  | 481        |
| 4.6.5.5. Variación estacional .....  | 482        |
| 4.6.5.6. Estudio de tendencia.....   | 482        |
| 4.6.5.7. Discusión .....   | 483        |
| 4.7. Calendario polínico .....   | 484        |
| 4.8. Comparación de metodologías de recuentos de polen .....   | 487        |
| <b>5. DISCUSIÓN GENERAL</b> .....  | <b>489</b> |
| 5.1. Variables meteorológicas. Tendencias .....  | 491        |
| 5.2. Comportamiento general del polen en la atmósfera de Málaga .....                                | 492        |
| 5.3. Estudio de tendencias en las concentraciones polínicas.....                                     | 494        |
| 5.3.1. Metodología estadística empleada para detección de tendencia .....                            | 494        |
| 5.3.2. Inicio, final y duración del PPP .....  | 496        |
| 5.3.3. Fecha y concentración del día pico .....  | 497        |
| 5.3.4. Niveles de polen .....  | 498        |
| 5.4. Correlación entre las concentraciones de polen y los principales parámetros meteorológicos .... | 499        |
| 5.5. Variación intradiaria.....  | 501        |

|   |            |
|---|------------|
| 5.6. Modelos de pronóstico .....  | 502        |
| 5.7. Calendario polínico .....  | 504        |
| 5.8. Comparación de metodologías de recuentos de polen .....  | 506        |
| <b>6. CONCLUSIONES/CONCLUSIONS.....</b>   | <b>507</b> |
| <b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>513</b> |
| <b>8. ANEXOS .....</b>  | <b>567</b> |
| Anexo 1. Thesis abstract .....  | 569        |
| Anexo 2. Comparison between the counting methods used by two aerobiology networks in southern Europe (Spain and Italy)..... | 578        |
| Anexo 3. Abreviaturas empleadas.....  | 584        |





## **1. INTRODUCCIÓN**



### 1.1. AEROBIOLOGÍA

#### 1.1.1. Definición y antecedentes históricos

El estudio de las partículas aerovagantes se puede considerar como una ciencia muy antigua. Según Gregory (1973), Hipócrates (460-377a. C.), considerado como el padre de la medicina, fue el primero en señalar que el hombre podía ser atacado por fiebres epidémicas al inhalar aire cargado de contaminantes hostiles a la raza humana. Aristóteles (384-323 a. C.) confirmó que el aire participaba en el transporte del polen, así como en los mecanismos de reproducción vegetal. Posteriormente a finales del siglo XV Monardi (1462-1536) se interesó en el estudio del papel de los estambres y su relación en la reproducción de las plantas. A principios del siglo XVII, Van Helmont (1577-1644) describió una patología clínica asociada a las plantas en flor, a la que denominó “catarro de verano”. Esta misma patología ya había sido previamente descrita por Razes (865-935) como “fiebre de las rosas” y por Leonardo Botallo (1519-1588) como “catarro de las rosas”. En la segunda mitad del mismo siglo, Marcello Malpighi (1628-1694) y Nehemiah Grew (1641-1712), dos de los médicos y naturalistas más importantes de la época, realizaron las primeras descripciones de las estructuras florales y los granos de polen.

Durante el siglo XIX, surge un gran interés por el conocimiento y aplicación de los estudios sobre la morfología polínica. Bauer (1758-1840) y Purkinje (1787-1869) aportaron conocimientos a la morfología polínica y realizaron distintas clasificaciones vegetales en base a los caracteres morfológicos de los granos de polen, como la polaridad, simetría, dimensiones, ornamentación, etc.

En esta época también, se producen otros descubrimientos en medicina relacionados con el polen de las plantas. Así, Bostock (1773-1846), médico y químico inglés, describe por la primera vez en 1819, la sintomatología alérgica, que coincide con la floración del heno en las praderas, dolencia a la que denominó ‘‘fiebre de heno’’, definida, hoy, como polinosis.

El estudio de las partículas transportadas por la atmósfera ya captó la atención de científicos notables como por ejemplo Charles Darwin quien en su “Diario del viaje de un naturalista alrededor del Mundo (en el navío de S. M. “Beagle”) realiza comentarios acerca del polvo que se depositaba en la cubierta del Beagle (Darwin, 1839).

*“Generalmente la atmósfera es brumosa, lo cual procede de un polvo impalpable en suspensión. Más tarde echamos de ver que ese polvo había averiado ligeramente los instrumentos astronómicos. La mañana antes de anclar en Porto Praya recogí un paquetito de este polvo fino, de color pardo, que parecía haber sido tamizado por la gasa de la veleta del palo mayor. Mr. Lyell me ha dado también cuatro paquetes de polvo caído en un navío a unos cuantos centenares de millas al norte de estas islas. El profesor Ehrenberg halla que el mencionado polvo se compone en gran parte de infusorios con caparazones silíceos y del tejido silíceo de plantas. En cinco paqueteros que le envié ha comprobado la existencia de hasta ¡sesenta y siete formas orgánicas diferentes!”*

Posteriormente, en base a un experimento realizado en 1860, Luis Pasteur demostró una disminución de la presencia de los microorganismos en altura, tomando muestras desde las orillas del Jura, cerca del Mont Blanc, hasta los 200m de altura (Gregory, 1973; Ariatti & Comtois, 1993).

A principio del siglo XX, el francés Pierre Miquel (1850-1922), farmacéutico y médico, quien ha sido considerado como el padre de la Aerobiología (Comtois, 1997), desarrolló el primer prototipo de captador volumétrico, capaz de succionar un volumen 20 litros de aire por hora, con el que realizó el

primer muestreo largo y periódico de la atmósfera. Miquel, a través de su estudio, concluyó, que el número y el tipo de microorganismos presentes en el aire variaba enormemente en un mismo sitio dependiendo de las diferentes horas, estaciones del año o la altitud. Blackley, en 1873, realizó diversos experimentos aerobiológicos en la atmósfera de Manchester. Diseñó un experimento utilizando cuatro portaobjetos expuestos bajo un tejado con los que observó el efecto del viento, el calor o la lluvia sobre el contenido polínico atmosférico, además de las diferentes concentraciones de polen obtenidas, dependiendo de la época de floración de diferentes especies. Este autor también observó la importancia que tiene la altura a la que se sitúa el captador de polen en los resultados.

Todos estos estudios, conjuntamente con el hecho de que ya se consideraba el polen como un elemento alergénico capaz de inducir fenómenos de hipersensibilidad en pacientes atópicos, hizo que se fueran desarrollados numerosos prototipos de muestreadores como el volumétrico de Hirst (1952), utilizado en nuestro estudio, y que permite conocer las concentraciones horarias y diarias de las partículas bióticas presentes en la atmósfera. Este método ha sido comercializado por las compañías Burkard® (Burkard Manufacturing Co Ltd, Hertfordshire, England) y Lanzoni s.l.r. (Bologna, Italia) y es uno de los métodos más empleados en la actualidad. Paralelamente, se publicaron numerosos trabajos sobre morfología polínica, tales como los de Wodehouse (1935), Erdtman (1952, 1966, 1969), Van Campo (1956, 1957) de Faegri & Iversen (1975) y líneas que continúan ampliándose con nuevas revisiones terminológicas (Punt *et al.*, 2007; Hesse *et al.*, 2009).

En realidad, el término Aerobiología fue definido por primera vez, en los años 30, por el fitopatólogo estadounidense, Fred Campbell Meier como una disciplina científica multidisciplinar que se ocupa del estudio las partículas de origen biológico presentes en la atmósfera, tanto esporas de hongos, como granos de polen, virus, bacterias y otros elementos.

Posteriormente, los investigadores han propuesto diversas definiciones para precisar el término ‘‘Aerobiología’’. Gregory (1973) indicó que la aerobiología incluía el estudio de todas las partículas, bióticas, tanto viables como no viables, transportadas pasivamente por el viento bajo la acción de las condiciones atmosféricas.

Pathirane (1975) señaló que la aerobiología es la ciencia que abarca el estudio de la liberación, deposición, resuspensión e incidencia atmosférica de partículas aerovagantes tales como esporas, pólenes y otros microorganismos. Posteriormente, otros autores amplían este concepto, así que según Spieksma (1992), es la ciencia que se ocupa del estudio del transporte de partículas biológicas de origen animal, vegetal o fúngico a través del aire.

Por su parte, Frenguelli (1998) define la Aerobiología ‘‘como la ciencia que estudia diferentes tipos de partículas bióticas (polen, esporas, semillas, líquenes, propágulos de plantas, etc.) y abióticas como los contaminantes inorgánicos y debe ser considerada como un campo científico multidisciplinar que cubre amplias áreas de estudio de ciencias básicas y aplicadas’’. Edmonds (1979) afirma que es ‘‘la disciplina científica enfocada hacia el estudio del transporte pasivo de organismos y materiales biológicos a través de la atmósfera’’, una definición ampliamente aceptada por la comunidad científica en la actualidad.

En 1968, durante el primer Congreso Mundial de Fitopatología, celebrado en Londres, se decide incluir la aerobiología en el Programa Internacional de Biología (IBP). Esto motivó que, en el año 1974, durante la celebración del primer Congreso Internacional de Ecología, que tuvo lugar en la Haya

(Holanda), se fundara la Asociación Internacional de Aerobiología (IAA, International Association for Aerobiology) (Benninghoff, 1980; Chanda, 1991), formada por todos los investigadores que centraban sus estudios en este campo, con la celebración de simposios y congresos internacionales, así como cursos de formación.

Más tarde, y a nivel europeo, se crea la European Aeroallergen Network (EAN), durante la III Internacional Conference of Aerobiology en Basilea (Suiza) en 1986. Un año después, en 1987, se establece la creación de un Banco Central de Datos con sede en Viena (Austria), conocido como “European Pollen Information” (EPI) (Jäger & Horak, 1988). El objetivo de este banco es el de facilitar el intercambio de información entre varios países europeos sobre el contenido polínico y los principales tipos polínicos alergénicos en Europa.

Actualmente, la aerobiología ha experimentado un cambio extraordinario, considerada como una ciencia multidisciplinar que se encuentra aplicada en múltiples disciplinas científicas. Si bien la aplicación más importante de esta ciencia se basa en el estudio sobre el polen y las esporas de hongos que pueden causar alergias, también tiene interés en muchos campos como la botánica, agricultura y fitopatología, estudios de cambio climático, modelos de dispersión de partículas, contaminación ambiental, etc.

### 1.1.2. La Aerobiología en España y Málaga

En el año 1992, gracias a la propuesta del profesor Eugenio Domínguez Vilches, se crea la Red Española de Aerobiología (REA) cuyo centro coordinador es la Unidad de Monitorizaje Aerobiológico de la Universidad de Córdoba. Esta red está compuesta por estaciones distribuidas por diversas zonas del territorio nacional, que trabajan conjuntamente bajo la idea de generar información útil sobre el contenido polínico de la atmósfera. Así, cada estación envía semanalmente al centro coordinador los resultados de los muestreos aerobiológicos para ser difundidos a través de los medios de comunicación, al tiempo que permite trabajar de una manera coordinada y con una metodología similar a diferentes grupos de investigación que hasta el momento habían llevado a cabo trabajos de forma independiente. Dicha red española se integraría a su vez en la ya existente EAN (European Aeroallergen Network), con sede en la Universidad de Viena, incorporando sus resultados a la base de datos de esta entidad. En la actualidad, la REA, está compuesta por más de 50 estaciones de muestreo que difunden los resultados a través de diversos medios de comunicación como prensa, radio, televisión e internet. Un manual de calidad y gestión de la REA en la que aparecen detalladas las estaciones de muestreo, así como la metodología a seguir para un muestreo aerobiológico correcto y estandarizado ha sido publicado por Galán *et al.* (2007).

Paralelamente a REA, el grupo del Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga inició el muestreo de la atmósfera de Málaga en el año 1991, siendo de las primeras estaciones aerobiológicas integradas en la red nacional. Así, al igual que otras estaciones, en la página web del Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga aparece información de los diferentes estudios realizados en varios puntos de la provincia, así como una actualización semanal de los niveles polínicos en los puntos de muestreo activos, junto con los pronósticos para los próximos días. El grupo de aerobiología de Málaga ha realizado numerosos estudios aerobiológicos, desarrollando los calendarios polínicos de localidades como Antequera (Recio *et al.*, 2000), Estepona (Tora *et al.*, 1997; Recio *et al.*, 2006), Málaga capital (Recio *et al.*, 1998a), Vélez-Málaga (Trigo *et al.*, 2007) y Nerja

(Docampo *et al.*, 2007), así como otros estudios sobre el transporte polínico a larga distancia (Cabezudo *et al.*, 1997), tratamientos estadísticos (Trigo *et al.*, 2000b), desarrollo de métodos cuantitativos y análisis de las fluctuaciones intradiarias (Trigo *et al.*, 1996a; Trigo *et al.*, 1997), relación con los parámetros meteorológicos (Trigo *et al.*, 1996b; Recio *et al.*, 1999, Recio *et al.*, 2010), modelos predictivos (Recio *et al.*, 1997a; Toro *et al.*, 1998), estudios inmunológicos (García-González *et al.*, 1996a; 1996b; 1997; 1999), estudios de tendencias y cambio climático (Trigo *et al.*, 2005; Recio *et al.*, 2009) entre otros.

## 1.2. EL GRANO DE POLEN

La palabra “polen” procede del latín *pollen-inis*, que significa “polvo muy fino” o flor de la harina” y fue utilizada por primera vez por Linneo e incorporada al castellano por Cavanilles (Trigo *et al.*, 2008).

El grano de polen es el gametófito masculino, formado en los sacos polínicos (microesporangios) alojados en las anteras. Se originan por meiosis de las células madres y posterior desarrollo de las microsporas formadas. Los granos de polen pueden liberarse de la antera en unidades independientes llamadas monadas, unidos de dos en dos (diadas), en grupos de cuatro (tétradas) o de más de 4 (poliadas), o en forma de masas (polinias). El polen está rodeado por una cubierta muy resistente a la pérdida de agua y a las inclemencias ambientales, cuyo papel es el de proteger el contenido celular y favorecer su llegada hacia el órgano femenino (Frenguelli, 2003). Por lo general, el papel del grano de polen es el de transportar el material genético del estambre de una planta hasta el pistilo o el primordio seminal, según se trata de Angiospermas o Gimnospermas, para llevar a cabo la fecundación. El traslado del polen desde el órgano donde se ha formado hasta la parte femenina de la flor se conoce con el nombre de polinización y puede efectuarse de maneras diversas, que son características de cada especie. La polinización puede ser entomófila cuando los vectores de transporte son insectos como abejas, mariposas, escarabajos, etc. y es anemófila cuando es el viento el principal medio de arrastre y diseminación de los granos de polen, siendo estos dos tipos los más frecuentes en nuestras latitudes.

El grano de polen está formado por dos partes: una parte viva, el gametófito masculino, que dará lugar a los gametos, y una envoltura externa resistente, variable e inerte (esporodermis o cubierta externa), que protege a las células vivas en su desplazamiento. Dicha pared está formada por dos capas de morfología y composición química diferentes.

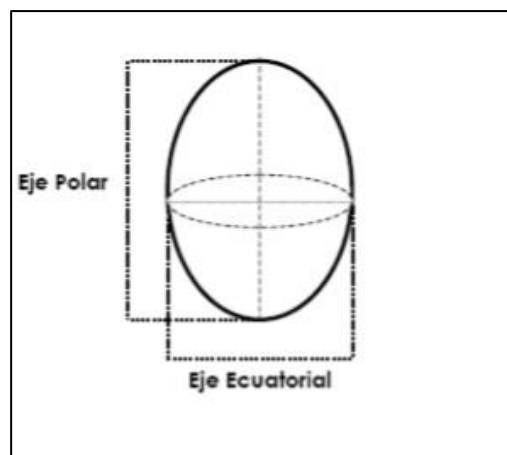
La intina es la capa interna, compuesta de celulosa, hemicelulosa y pectinas (Kovacic *et al.*, 2009). Dicha capa tiene una serie de funciones principales, ya que es esencial para la germinación del grano de polen, puesto que es la precursora del tubo polínico, además ser un reservorio de enzimas y otras proteínas implicadas en la interacción con el estigma (Heslop-Harrison & Heslop-Harrison, 1991).

La capa externa, definida como exina, está compuesta de esporopolenina, sustancia extremadamente resistente (Rowley & Skavarla, 2000). La exina presenta una estructura arquitectónica particular y es rica en compuestos antioxidantes, mientras que en la intina están los demás compuestos nutricionales y bioactivos (Wakil *et al.*, 2010). La función de la exina es la de proteger al grano de polen frente a condiciones adversas, tales como altas temperaturas, exceso de radiación ultravioleta y, de forma general, mantiene la viabilidad de los granos de polen durante largos periodos de tiempo (Scott, 1994). Desde el punto de vista estructural, la exina está compuesta por una capa interna en contacto con la

intina conocida como nexina y una externa o sexina (Erdtman, 1960). Esta última es la parte estructurada de la exina y está compuesta por una capa basal. Sobre ella se localizan elementos verticales denominados báculos o columelas, que forman el infractéctum, sobre el que dispone una capa más o menos gruesa, denominada téctum.

Según Erdtman (1969), la morfología de la exina es tan característica que hace que los diferentes tipos de polen sean distinguibles al microscopio óptico, permitiéndonos identificar las especies correspondientes. En general, los caracteres utilizados en su determinación son: polaridad, simetría, forma, tamaño, número, posición y carácter de las aberturas, y ornamentación. Las aberturas o lugar de la salida del tubo polínico juegan un papel importante durante la germinación ya que permiten cambios de volumen en el grano de polen en respuesta a variaciones de la humedad relativa (Wodehouse, 1935).

El primer criterio para la identificación de un grano de polen es la **polaridad**, que viene determinada por la disposición del grano de polen en tétrades, pudiéndose diferenciar dos polos, el más cercano al centro de la tétrade se denomina próximal, mientras que el más alejado es el polo distal. La línea imaginaria que une ambos polos es el eje polar (P) y la línea imaginaria perpendicular al primero que pasa por el ecuador, se denomina eje ecuatorial (E) (Fig. 1.1).



**Figura 1.1.** Esquema de los ejes en un grano de polen (Valdés *et al.*, 1987).

De este modo, el polen puede ser apolar si, una vez liberado de la tétrade no se pueden reconocer las zonas polares, y polar si se pueden distinguir. También, se diferencia entre polen isopolar, con dos zonas polares semejantes, y heteropolar, cuando éstas son diferentes.

En cuanto al **tamaño** y la **forma**, el tamaño de un grano puede variar entre  $<10\ \mu\text{m}$  (muy pequeño),  $10\text{-}25\ \mu\text{m}$  (pequeños),  $25\text{-}50\ \mu\text{m}$  (medianos),  $50\text{-}100\ \mu\text{m}$  (grandes),  $100\text{-}200\ \mu\text{m}$  (muy grandes) y  $>200\ \mu\text{m}$  (gigantes), viniendo determinado por el eje de mayor longitud, indistintamente de si se trata del eje polar (P) o el ecuatorial (E). La forma se determina respecto a la relación existente entre dichos ejes, así que según el valor de la relación P/E, la forma del grano de polen recibe diversas denominaciones (Erdtman, 1952) (Tabla 1.1):



| Relación P/E | Forma              |
|--------------|--------------------|
| <0,50        | peroblado          |
| 0,50-0,75    | oblado             |
| 0,75-0,88    | suboblado          |
| 0,88-1       | oblado-esferoidal  |
| 1            | esferoidal         |
| 1-1,14       | prolado-esferoidal |
| 1,14-1,33    | subprolado         |
| 1,33-2       | prolado            |
| >2           | perprolado         |

**Tabla 1.1.** Clasificación de Erdtman (1952) en función de la relación P/E.

Basándose en la forma del grano de polen y la disposición de las aberturas, se puede definir el mismo como simétrico o asimétrico, en función de si, en vista polar, se puede establecer algún plano de simetría o no. En el caso de los simétricos podemos diferenciar entre radiosimétricos (con más de 2 planos de simetría) y bisimétricos (con 2 planos de simetría).

El número, carácter y posición de las **aberturas** originan una gran variabilidad de tipos polínicos, dando lugar al llamado sistema NPC de Erdtman (1952).

### 1.3. PROCESOS AEROBIOLÓGICOS

El proceso aerobiológico consiste en una serie de pasos sucesivos que son dependientes unos de otros y también en factores ambientales externos tal como el viento, la lluvia o la temperatura, que pueden influir sobre los diferentes procesos aerobiológicos, y que determinan la presencia de partículas en la atmósfera. Estos pasos son: la producción de los granos de polen por la fuente emisora, la liberación desde las anteras, transporte y dispersión, deposición e impacto, y resuspensión (Fig. 1.2; Spieksma, 1992).

#### 1.3.1. Fuente emisora

La fuente emisora es aquella que produce las partículas biológicas. Nilson (1992) describe que se puede distinguir tres tipos de fuentes de producción o de emisión según el área que ocupa la misma. Según este autor, existe una fuente puntual (antera de forma asilada), lineal (un muro de un camino con Parietaria), o bien areal (un bosque de robles).

En lo que se refiere al polen, se ha observado que las plantas con polinización anemófila se caracterizan por producir grandes cantidades del mismo. Sin embargo, la potencialidad de producción polínica es muy variable de una planta a otra, y también entre especies (Aboulaïch *et al.*, 2008; Fernández-Illescas *et al.*, 2010; Gallota *et al.*, 2014; Mazzeo *et al.*, 2014). Por otra parte, la producción de polen por antera está determinada fundamentalmente por factores genéticos. Sin embargo, dicha producción puede presentar variaciones interanuales significativamente importantes, debido a la influencia de los factores ambientales (Jato *et al.*, 2007; Damialis *et al.*, 2011; Fotiou *et al.*, 2011). Más específicamente, en la fase pre-floración, los parámetros meteorológicos pueden afectar a la estructura reproductora de las plantas, alterando la cantidad de flores producidas por éstas.

### 1.3.2. Liberación

Es la primera etapa del proceso aerobiológico, que consiste en el paso de las partículas desde la fuente de producción a la atmósfera como consecuencia de la maduración de la antera y la posterior liberación del polen en el aire (Orlandi *et al.*, 2009). Dicho paso está influenciado por los parámetros meteorológicos, siendo el viento, la temperatura y la humedad relativa los que juegan un papel importante en la liberación de los granos de polen (Gregory, 1973).

### 1.3.3. Transporte y dispersión

Una vez que las partículas están en la atmósfera, su permanencia dependerá en gran medida de los movimientos de las masas de aire, turbulencias, lluvias y convecciones térmicas, que crean un transporte vertical u horizontal según los casos. La concentración de partículas aerovagantes en el aire disminuye con el incremento de la distancia hasta la fuente emisora, pudiéndose producir en ocasiones un transporte a larga distancia (Tampieri *et al.*, 1977; Mandrioli *et al.*, 1984; Spieksma, 1992) que puede llegar a ser muy importante en pólenes de pequeño tamaño (Cabezudo *et al.*, 1997; Cecchi *et al.*, 2006; Fernández-Rodríguez *et al.*, 2014). Por otra parte, el transporte y la dispersión depende principalmente de las condiciones meteorológicas y la potencia de la fuente emisora pero también, puede variar en función de la morfología polínica, tal como el caso del polen de *Olea* o de *Betula* que tienen la capacidad de ser transportados a largas distancias (Silijamo *et al.*, 2008; Hernández-Ceballos *et al.*, 2011b; Rojo & Pérez-Badía, 2015), mientras que dicha capacidad es menor en otros tipos polínicos, como es el caso de *Quercus* (Mandrioli *et al.*, 1982; Recio *et al.*, 1999).

### 1.3.4. Deposición e impacto

Es la última etapa de la trayectoria aerobiológica. Las partículas biológicas se depositan sobre diferentes superficies como suelo, vegetación, o bien las vías respiratorias humanas, cuando la fuerza de la gravedad o la propia inercia de la partícula superan a la intensidad del viento. Dichas partículas pueden depositarse de forma pasiva, o bien de forma activa por procesos de precipitación (Nilsson, 1992). En la deposición activa la lluvia juega un papel fundamental, provocando el denominado ‘‘lavado atmosférico’’ arrastrando las partículas aerovagantes, junto con otros parámetros como la niebla, granizo y formación de nubes (Mandrioli *et al.*, 1973).

### 1.3.5. Resuspensión

Aunque ya se haya depositado sobre algunas superficies, una partícula puede volver a pasar nuevamente a la atmósfera y permanecer en el estado de flotación por un tiempo variable debido al proceso de resuspensión provocado por la acción de las corrientes atmosféricas, turbulencias, o bien la acción antrópica, lo que podría explicar la presencia de granos de polen en el aire fuera de su periodo de polinización (Jato *et al.*, 2007).

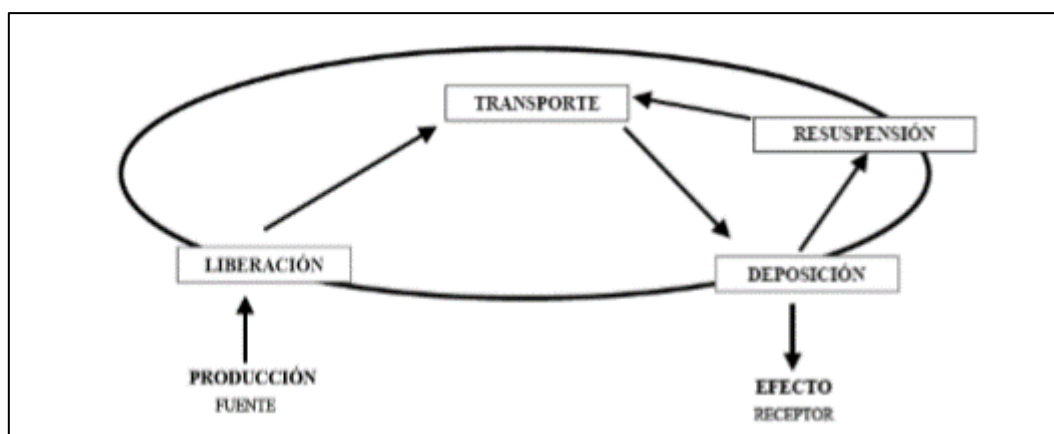


Figura 1.2. Processos aerobiológicos (Edmonds, 1979).

## 1.4. PRINCIPALES APLICACIONES DE LA AEROBIOLOGÍA

La Aerobiología se considera como una disciplina en sí misma y una herramienta para otras disciplinas, por lo que los posibles campos de aplicación son extremadamente numerosos y van desde la medicina (alergología, inmunología) a la agricultura (patología vegetal, previsión de cosecha), a la ecología, Meteorología, la criminología y el cambio climático.

### 1.4.1. Medicina

Desde un punto de vista general, la medicina se considera como el campo de aplicación más importante de la Aerobiología, cuyo objetivo es el de realizar un estudio de los granos de polen y esporas contenidos en la atmósfera, su diversidad, así como sus concentraciones, lo que proporciona información acerca de la repercusión que estas partículas bióticas pueden tener para la salud de la población local (De Linares *et al.*, 2007; Carracedo Martínez *et al.*, 2008; Cecchi *et al.*, 2010). El conocimiento del espectro polínico de la atmósfera de una cierta zona constituye una herramienta para determinar los alérgenos potenciales en cada área geográfica (Ribeiro *et al.*, 2009; Cariñanos *et al.*, 2014; Bastl *et al.*, 2016). Por otra parte, la realización de calendarios polínicos y modelos de pronóstico para las concentraciones de polen en el aire, está siendo muy útil en la planificación de los tratamientos preventivos de los pacientes que presentan problemas de alergia (D'Amato *et al.*, 2007; Docampo *et al.*, 2007; Pérez-Baldia *et al.*, 2010; Sicard *et al.*, 2012; Myszkowska, 2014; Martínez-Bracero *et al.*, 2015).

Por otra parte, las esporas de hongos también constituyen una fracción significativa (cuantitativa y cualitativamente) de las partículas atmosféricas. Las esporas de hongos se presentan tanto en los ambientes exteriores (Oliveira *et al.*, 2009; Aira *et al.*, 2013) como interiores (Meklin *et al.*, 2003; Sautour *et al.*, 2009; Crawford *et al.*, 2009; Docampo *et al.*, 2011), y la identificación y la cuantificación de estas partículas son de gran interés desde un punto de vista clínico. Muchas esporas fúngicas han sido clasificadas como causantes de reacciones alérgicas como rinitis y asma en el ser humano (Gravesen, 1979; D'Amato *et al.*, 1997; Rivera-Mariani *et al.*, 2012). Hoy en día, el estudio de las esporas fúngicas ha cobrado una mayor relevancia en los últimos años, fundamentalmente en lo que refiere a su contenido

en la atmósfera, comportamiento estacional y los modelos de pronósticos. Los calendarios esporales se presentan como herramienta básica para los alergólogos (Kasprzyk & Worek, 2006; Astray *et al.*, 2010).

### 1.4.2. Agricultura

La Aerobiología constituye una herramienta valiosa en trabajos relacionados con el campo de la agricultura, fundamentalmente en lo que se refiere a especies con interés agrícola y forestal. Asimismo, el estudio aerobiológico es importante para conocer la distribución, la ecología y la deposición de esporas de hongos patógenos que se dispersan en la atmósfera tanto durante el periodo pre- como post-recolección, permitiendo poner en marcha programas de prevención tras aplicar las medidas adecuadas de protección fitosanitaria que mejoraran los rendimientos y los beneficios económicos (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2010; Recio *et al.*, 2012). También, el uso de la concentración de polen en el aire supone una herramienta de utilidad probada, proporcionando información sobre la fenología de plantas y la previsión de productividad agrícola, particularmente en cultivos con polinización anemófila (Oteros *et al.*, 2014). Cour & Van Campo (1980) fueron los primeros en demostrar el vínculo entre los niveles de polen emitidos de especies anemófilos y los rendimientos obtenidos. Más adelante, varios artículos publicados han documentado la relación entre la liberación de polen y la producción de frutos en diferentes especies, como *Vitis vinifera* L. (Baugnent 1991; Cunha *et al.*, 2003), *Corylus avellana* L. (Lletjos *et al.*, 1993), *Malus pumila* (Pinchon, 1983), *Quercus* (García-Mozo *et al.*, 2007) y Poaceae (Muñoz *et al.*, 2000). En el área mediterránea, la relación estrecha entre la emisión de polen y la producción de frutos ha sido ampliamente estudiada, fundamentalmente con *Olea europaea* L. (Ribeiro *et al.*, 2007; Galán *et al.*, 2008; Aguilera & Ruiz-Valenzuela, 2014; Ben Dhiab *et al.*, 2016; Orlandi *et al.*, 2016).

### 1.4.3. Ecología

La Aerobiología se utiliza como herramienta para proporcionar información biogeográfica y ecológica de un territorio determinado (Rojo *et al.*, 2015; Oteros *et al.*, 2015; García-Mozo *et al.*, 2016), lo cual, a su vez, facilita la administración de la biota y la protección contra el impacto indeseable en el medio ambiente (Fernández-Llamazares *et al.*, 2014; Velasco-Jiménez *et al.*, 2014). Por consiguiente, el estudio de modelos que analizan el transporte y la dispersión de granos de polen constituye una importante herramienta en el campo de la ecología, esencialmente para el estudio de especies invasoras (Laaidi *et al.*, 2003; Belmonte & Vila, 2004; Tamarcaz *et al.*, 2005). En este sentido, la predicción de expansión de las especies invasoras o bien las estrategias de control para ciertas especies se considera como algunos de los campos de estudio más importantes, permitiendo decidir entre emplear estrategias ofensivas o defensivas contra una especie (Rejmánek *et al.*, 2005). Fernández-Llamazares *et al.* (2012) realizaron un análisis de los registros polínicos de *Ambrosia* en ocho estaciones en la región de Cataluña, durante un periodo 1994-2010, mediante el estudio de retrotrayectorias (Backward atmospheric air masses trajectories). Los autores encontraron que *Ambrosia*, considerada como una especie invasora con alta capacidad alérgica (Rogers *et al.*, 1996; Rybníček & Jäger, 2001; Makra *et al.*, 2005), se está expandiendo claramente en la parte de Cataluña, aunque es una especie poco frecuente. De hecho, los índices polínicos anuales de *Ambrosia* parecen estar claramente relacionados con el aumento del transporte a larga distancia desde fuentes donde está ampliamente extendida, tal como es el caso de Francia, norte de Italia, Hungría y Serbia.

#### 1.4.4. Fenología

El estudio de la dinámica de polen en la atmósfera presenta un papel importante en los estudios fenológicos, fundamentalmente para las especies de polinización anemófila, ya que nos indica la época del año en la que el polen está presente en la atmósfera. Asimismo, basándonos en los estudios fenológicos continuados durante una serie determinada de años y en un punto geográfico concreto, se pueden realizar predicciones del inicio de la floración o detectar posibles cambios en el inicio o la intensidad de la estación polínica (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2010c; Fernández-González *et al.*, 2013). No obstante, en los últimos años, la fenología está siendo utilizada como una importante herramienta para el estudio del cambio climático; las variaciones fenológicas observadas recientemente son buenos indicadores de los impactos del cambio climático y la variabilidad de los ecosistemas (García-Mozo *et al.*, 2010b; Gálan *et al.*, 2016; De Linares *et al.*, 2017; Hidalgo-Gálvez *et al.*, 2018).

#### 1.4.5. Criminología

Por otra parte, esta disciplina también se puede aplicar al campo de la criminología, ya que el estudio del polen y de otras partículas microscópicas ha sido una herramienta útil para la resolución de numerosos actos delictivos, gracias a que se pueden transportar adheridas a diversos tejidos. De la misma forma, la monitorización aeropalínica puede facilitar información acerca del origen del polen de especies consideradas ilegales como el de *Cannabis sativa* L. (Cabezudo *et al.*, 1997; Aboulaich *et al.*, 2013), o bien acerca de la trayectoria seguida por un objeto (drogas por ejemplo), al llevar adheridos pólenes y esporas propios de un lugar concreto (Domínguez, 1996).

### 1.5. INFLUENCIA DE LA CLIMATOLOGÍA EN LA DINÁMICA DEL POLEN

Varios estudios han relacionado la influencia de las condiciones meteorológicas a la productividad del polen. Laaidi *et al.* (1997) clasifican los factores meteorológicos que actúan sobre el polen en tres categorías principales: los factores primarios, secundarios y terciarios. Los factores primarios son aquellos que afectan directamente a la biología de las especies (desarrollo, floración), lo que condiciona la producción de polen. Los factores secundarios son los que influyen en la liberación de los granos de polen en el aire cuando las anteras (partes fértiles de los estambres) maduran. Los factores terciarios rigen la dispersión de los granos de polen en el aire.

#### 1.5.1. Factores primarios

Con respecto al desarrollo de la planta y la producción de polen, la temperatura, la insolación y la precipitación son los principales factores que controlan esos fenómenos (Sofiev *et al.*, 2009; Recio *et al.*, 2010). Asimismo, la insolación (las horas de sol) juega un papel importante en la regulación del desarrollo de plantas (Pérez-Badía *et al.*, 2013), así que la mayoría de las plantas tienen ritmos de floración y, por tanto, de emisión polínica regulados principalmente por el número de horas de sol, lo cual interviene directamente sobre la síntesis de reguladores de la floración y crecimiento. Estos reguladores también están relacionados con procesos mecánicos que provocan la dehiscencia de las anteras cuando se alcanza un umbral térmico y de humedad específico para cada taxón.

Más específicamente, la temperatura es el factor ambiental más importante para determinar la fecha de inicio de floración, acelerando o retrasando la formación de yemas florales, antesis, emisión y dispersión del polen (Leuchner & Boehm, 1981) y, consecuentemente, el periodo de polinización de las diversas especies (Dennis, 1984), lo que influye sobre las concentraciones atmosféricas. En general, el umbral de temperatura a partir del cual la planta comienza a acumular calor depende de la zona geográfica donde se desarrolle y de sus condiciones ambientales (García-mozo *et al.*, 2002; Jato *et al.*, 2002; Jato *et al.*, 2015), pero también es un factor intrínseco de las especies anemófilas que requiere superar un umbral de temperatura específico para estimular la dehiscencia de las anteras (García-Mozo *et al.*, 2009). Mandrioli (1987) considera que las temperaturas del verano anterior determinan, en parte, la producción polínica de especies arbóreas. Sin embargo, en especies herbáceas, son las temperaturas de las semanas anteriores a la floración las que presentan un efecto directo en la intensidad de la estación polínica (Reiss & Kostic, 1976), si bien que pueden estar también influenciada por las bajas temperaturas del invierno precedente (Lejojly-Gabriel & Leuschner, 1983). Realmente, estos requerimientos determinan la aparición de variaciones en lo que se refiere a las estaciones polínicas, por lo que cada taxón presenta un comportamiento diferente, dependiendo del punto geográfico. De forma concreta, el periodo de polinización de una misma especie en una localidad específica puede variar considerablemente de un año a otro gracias a fluctuaciones en los parámetros meteorológicos.

Por otra parte, la precipitación también juega un papel positivo en el inicio de la floración, crecimiento de las plantas y ejerce un cierto control sobre la duración de las estaciones polínicas (Barnes *et al.*, 2001; Sánchez Mesa *et al.*, 2003; Thibaudon *et al.*, 2005). No obstante, en los meses previos a la floración, en general, se ha observado la existencia de una correlación positiva entre las precipitaciones acaecidas en dichos meses y la producción polínica tanto en árboles como en plantas herbáceas (Cariñanos *et al.*, 2004a; Sicard *et al.*, 2012; Murray & Galán, 2016), y sobre todo en climas con acusadas fluctuaciones en los registros de lluvias, como ocurre con el clima mediterráneo (Recio, 1995).

Sin embargo, según algunos autores, durante el periodo de polinización principal, las lluvias pueden tener un efecto contrario, ya que un exceso de humedad causado por fuertes lluvias puede tener un efecto negativo por el fenómeno conocido como “lavado atmosférico” (Recio *et al.*, 2010; Aira *et al.*, 2011).

### 1.5.2. Factores secundarios

La liberación de granos de polen está influenciada por varios factores. Condiciones de sequedad (baja humedad relativa) (Laaidi *et al.*, 1997; Jato *et al.*, 2001a; Sofiev *et al.*, 2009) junto con un aumento gradual de las temperaturas durante las horas centrales del día provocan la dehiscencia de las anteras y favorecen la liberación del polen (Galán *et al.*, 1991; Recio *et al.*, 2002; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2010). En este sentido, una noche cálida puede acelerar la liberación de los granos de polen, mientras que una noche fría puede inhibirla, especialmente en plantas herbáceas (Sofiev *et al.*, 2009). Además, las condiciones a que da lugar una alta presión atmosférica también favorecen la apertura de las anteras (Laaidi *et al.*, 1997).

### 1.5.3. Factores terciarios

En términos de dispersión de granos de polen, ya hemos visto que temperaturas cálidas, baja humedad relativa y sin precipitación favorecen la dispersión (Sofiev *et al.*, 2009). Por el contrario, la

precipitación y la alta humedad relativa disminuyen la flotabilidad de los granos de polen, dificultando la dispersión de los mismos (Fernández-González *et al.*, 2013). Pero, además de los factores citados anteriormente, el viento desempeña un papel importante en la dispersión y transporte de los granos de polen de plantas anemófilas (Thibaudon *et al.*, 2005; Cabezudo *et al.*, 2007), siendo la velocidad y la dirección del viento, parámetros que ejercen una influencia decisiva, favoreciendo el incremento de las concentraciones de polen en la atmósfera, así como su dispersión a corta, media y larga distancia (Cour *et al.*, 1999; Silva-Palacios *et al.*, 2000; Damialis *et al.*, 2005; Rojo *et al.*, 2015). También, hay que tener en cuenta que el viento favorece la resuspensión de las partículas aerovagantes, en general, y puede provocar la aparición de polen de especies cuyas floraciones ya estaban finalizadas (Isard *et al.*, 2000).

## 1.6. PERÍODO DE POLINACIÓN PRINCIPAL

El periodo de polinación principal (PPP) es la duración del tiempo en la que el polen está presente en la atmósfera en concentraciones significativas en un lugar determinado (Galán *et al.*, 2017), debiéndose, por su parte, a la fenología propia de la planta y, por otra, a las condiciones meteorológicas. El objetivo de establecer un PPP es conocer los días en que las concentraciones de cada tipo polínico son elevadas y discriminar aquéllos con concentraciones bajas. Para calcular el PPP se utilizan los datos de polen correspondientes al periodo anual donde se registra la mayoría del polen total acumulado. La curva anual de polen de un taxón determinado se representa como concentraciones medias diarias, en la que se tiene en cuenta el periodo delimitado entre dos puntos, el primero correspondiente al inicio del PPP, mientras que el segundo es el que marca el final del periodo de polinización (Pathirane, 1975).

Por lo general, cada taxón se caracteriza por un PPP propio que varía en función del lugar de estudio y del año considerado, junto con la influencia de las condiciones meteorológicas. Existen diferentes métodos para definir el inicio del PPP, dependiendo de ciertas condiciones o criterios. Jato *et al.* (2006) publicaron un trabajo de revisión describiendo los diferentes métodos para el cálculo del periodo de polinización principal usados por diferentes autores en una variedad de taxones diversos.

**Mullenders *et al.* (1972):** define el inicio del periodo principal de polinación como el día en el que las concentraciones medias de cinco días alcanzan al menos el 1% del total anual durante tres días consecutivos, y el final cuando las concentraciones son inferiores al 0,9% durante más de 10 días consecutivos, admitiendo que se captura un 85% del recuento anual total, comenzando en el 10% y finalizando en el 95%.

**Nilsson & Person (1981):** el PPP comienza cuando la suma de las concentraciones medias diarias alcanza el 5% del total y termina cuando alcanza el 95% del mismo, quedando el PPP definido por el 90% del polen total anual.

**Lejoly-Gabriel & Leuschner (1983):** según estos autores, el PPP comienza el día en que la suma de los porcentajes anuales de polen está por encima del 5% del taxón, siempre que en este mismo día se produzca una liberación mayor del 1%. Acaba el último día en el que el porcentaje es mayor del 1% y la suma de los porcentajes de este día y los dos días precedentes son superiores o iguales al 3%.

**Anderson (1991):** define el PPP como el periodo en el cual el inicio alcanza el porcentaje acumulado del 2,5% del total anual, y el fin cuando se alcanza el 97,5%, o sea, es el periodo que comprende el 95% de la cantidad total de polen.

**Spieksma *et al.* (1995):** usan el mismo criterio que Mullenders *et al.* (1972), pero sugiere que el 1% del total anual debería estar definido como el total anual medio de los años considerados.

**Galán *et al.* (1995):** el periodo que incluye el 99% del polen total anual, de modo que el inicio se produce cuando la suma de concentraciones de polen diario alcanza el 1% de la suma total y el fin cuando se alcanza el 99%.

**Jäger *et al.* (1996):** el inicio del PPP comienza cuando se alcanzan concentraciones medias diarias superiores a 1% del total anual, suponiendo que no se obtiene más de seis días seguidos con concentraciones nulas y se termina al alcanzar el 95% del total anual de polen.

**Giorato *et al.* (2000):** periodo en el cual la concentración media diaria del polen en el aire supera 30 granos/m<sup>3</sup> para gramíneas y Urticaceae y los 20 granos/m<sup>3</sup> por otros taxones.

**Sánchez-Mesa *et al.* (2003):** el periodo y el fin de la estación de polen de las gramíneas están definidos como aquellos días en los que los índices de polen en el aire son mayores o iguales que 30 granos/m<sup>3</sup>.

Para seleccionar un criterio adecuado sobre la determinación y el cálculo de la estación polínica se deben de tener en cuenta los factores locales que afectan a la presencia del polen en la atmósfera, como número de especies existente en la ciudad o zona, transporte a media o larga distancia de los granos de polen, la variación interanual del índice polínico y los parámetros meteorológicos locales (Jato *et al.*, 2006). Asimismo, las curvas del polen de las plantas localizadas en torno del captador representan el periodo de floración de dichas plantas. Sin embargo, dichas curvas pueden estar influenciada por otros factores. De hecho, la fecha de inicio puede, a su vez, corresponder a polen de plantas de floración temprana, que ha sido transportado a largas distancias de zonas alejadas, tal como el caso de *Olea* cuya gran habilidad de recorrer distancias largas e intermedias, explica los niveles relativamente elevados registrados en zonas donde la presencia del olivo no es significativa (Gastaminza *et al.*, 2005). También, fenómenos como las turbulencias, que mantienen al polen en el aire durante un cierto tiempo, puede alterar la sincronización entre las fechas de floración y las concentraciones medias diarias del polen, aumentando los recuentos cuando la floración ha finalizado.

Por otra parte, la duración de la estación de polen junto con el índice polínico total anual pueden variar de un año a otro influenciados por las condiciones meteorológicas, ya que se ha señalado que en los años cálidos se acelera la liberación de polen de las anteras dando lugar a una estación más corta. Por lo contrario, la estación polínica se alarga en situaciones lluviosas o con bajas temperaturas, debido a la liberación más lenta de los granos de polen. Además, hay de tener en cuenta que algunos tipos polínicos incluyen especies que pueden presentar diferentes periodos de floración a lo largo del año, siendo dos a más veces, dependiendo de las condiciones atmosféricas locales, tal como el caso de la familia de Amaranthaceae en Cartagena, sureste de España, que tiene dos periodos de floración, en primavera y otoño, y el género de *Parietaria* en varias estaciones (Elvira-Rendueles, 2001), razón por la cual existen diferentes métodos para el cálculo del periodo de polinización principal (Jato *et al.*, 2006).



## 1.7. LA AEROBIOLOGÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

La progresión dramática de la polinosis en las últimas décadas ha llevado a la comunidad científica a cuestionar las causas de este fenómeno. En los últimos 20 años, la comunidad científica ha enfatizado que el clima de la tierra está experimentando un cambio acelerado debido a las actividades antropogénicas que han ocurrido desde la Revolución Industrial. Por otra parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha demostrado que el calentamiento global es inequívoco y que las temperaturas atmosféricas promedio mundiales ya están aumentando a escala mundial (IPCC, 2014). En Andalucía, el efecto del cambio climático ha sido analizado por Sousa *et al.* (2007), quienes informaron que los cambios en las temperaturas medias coinciden con lo registrado en toda la Península Ibérica, caracterizado por dos periodos de calentamiento en el siglo XX: uno durante la primera mitad del siglo, y otro, más marcado, comenzando en 1970. Asimismo, la evolución de las temperaturas máximas estacionales indica un notable calentamiento en la primavera de aproximadamente 2 °C, aunque la magnitud de los cambios es menor en otoño e invierno. Se ha detectado una ligera tendencia descendente en lo que se refiere a la precipitación anual, estadísticamente significativa para la primavera, pero no significativa para el invierno ni para las precipitaciones otoñales.

De forma general, el cambio climático afecta la fisiología, la fenología y la distribución de las especies vegetales y animales (Menzel *et al.*, 2001; Peñuelas *et al.*, 2002; Bonofiglio *et al.*, 2008), apareciéndose un grado variable de plasticidad genotípica y fenotípica (Hedhly *et al.*, 2009). En los últimos años, muchos investigadores han señalado la utilidad de disponer de bases de datos aerobiológicos históricos de unos 25 años para la investigación sobre el cambio climático, ya que proporciona información sobre la respuesta de las plantas al este fenómeno (Recio *et al.*, 2009; Ariano *et al.*, 2010; Jato *et al.*, 2015; D'Amato *et al.*, 2016; Gálan *et al.*, 2016). De esta manera, los datos aerobiológicos se presentan como bioindicadores, constituyendo una herramienta para intentar comprender el fenómeno (Ziska & Beggs, 2012). Varios estudios han puesto de manifiesto los impactos del cambio climático en las especies vegetales como resultado del aumento de las temperaturas y de las concentraciones de CO<sub>2</sub> (Clot, 2003; Cariñanos *et al.*, 2004; Rogers *et al.*, 2006; Ziska *et al.*, 2009; D'Amato *et al.*, 2010; Ziello *et al.*, 2012). Este fenómeno puede dar lugar a cambios en la producción, liberación, distribución y dispersión de aeroalérgenos, así como en la concentración de proteínas alergénicas contenidas en el polen (D'Amato *et al.*, 2008).

### 1.7.1. Tendencia del periodo de polinación principal

En términos generales, basándonos en el análisis de largas bases de datos históricos, y como resultado al incremento de las temperaturas, las estaciones principales de polinación (PPPs) se muestran más largas (Ziello *et al.*, 2012). Por otra parte, varios estudios aerobiológicos han mostrado una tendencia al adelanto del inicio de la floración, tal como en el caso de *Betula* (Frei & Gassner, 2008), *Olea* (Galán *et al.*, 2005; Orlandi *et al.*, 2014; García-Mozo *et al.*, 2014), *Quercus* (García-Mozo *et al.*, 2006; Jato *et al.*, 2015), *Plantago* (Damialis *et al.*, 2007), Chenopodiaceae-Amaranthaceae (Cariñanos *et al.*, 2014), Cupressaceae (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2003), y *Artemisia* (Stach *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha descrito una tendencia al retraso en el inicio el periodo de polinación principal en otras especies como Urticaceae (Recio *et al.*, 2009), Poaceae (Jato *et al.*, 2009), o *Pinus* (Velasco-Jiménez *et al.*, 2017). En el mismo sentido, se ha señalado un aumento de los valores picos de polen (concentraciones medias

diarias máximas) de algunas especies bajo el efecto del cambio climático como en *Betula* (Zhang *et al.*, 2014), *Platanus* (Tormo-Molina *et al.*, 2010), y *Olea* (García-Mozo *et al.*, 2014). Sin embargo, es importante tener en cuenta que el avance o retraso de la estación polínica depende no sólo del efecto del cambio climático sino de otros factores. Asimismo, la base de datos seleccionada para evaluarla en un estudio determinado, y las tendencias de las temperaturas durante estos años juega un papel importante. Es decir, se ha descrito que un aumento moderado de la temperatura provocó un retraso en el inicio de la estación polínica de árboles con floración en invierno/principios de primavera (Emberlin *et al.*, 2007; Tedeschini *et al.*, 2006). También, depende de las características regionales (Orlandi *et al.*, 2009; Recio *et al.*, 2009), lo que puede confundir los patrones. Esta es posiblemente la razón por la cual no hay patrones sistemáticos claros (Damialis *et al.*, 2007). Por otra parte, hay que señalar que existen diferencias en la respuesta de cada especie en lo que se refiere al fenómeno de cambio climático, ya que se ha descrito una influencia menos marcada en las herbáceas que en las leñosas (Clot 2003; García-Mozo *et al.*, 2010b; Frenguelli *et al.*, 2014a). Este hecho también podría explicarse la influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) que es actualmente una información muy confiable para los pronósticos meteorológicos de invierno-primavera especialmente para las regiones mediterráneas (Gallego *et al.*, 2005). Siendo objeto de estudio de numerosos trabajos realizados (Smith *et al.*, 2009; Galán *et al.*, 2016), la estacionalidad de la NAO, determinado por el retraso o la anticipación de la precipitación o los cambios en la temperatura, inevitablemente produce cambios en los mecanismos fenológicos de ciertas plantas en termino producción y caracterización de la estación polínica.

### 1.7.2. Producción de polen por las plantas

Varios estudios sugieren que el calentamiento global podría conducir a un aumento en la producción de polen por las plantas y, en consecuencia, a un aumento de las concentraciones de polen en el aire (Bonofiglio *et al.*, 2009; Ziska *et al.*, 2009; Garcia-Mozo *et al.*, 2014; Beggs, 2015). En particular, se observó que el aumento de las temperaturas y las concentraciones combinadas de CO<sub>2</sub> favorecen la actividad fotosintética de las plantas, lo que causaría un aumento en el número de flores y, por lo tanto, un aumento en la producción de polen (Ziska *et al.*, 2009).

### 1.7.3. Polen y actividad alérgica

Los cambios climáticos causados por el calentamiento global pueden tener efectos significativos en la abundancia de pólenes alérgicos y desde luego, en la incidencia de las polinosis (D'Amato *et al.*, 2014; Lake *et al.*, 2016). El impacto de dicho fenómeno sobre los ecosistemas naturales se muestra probablemente mayor en el sur, fundamentalmente en el área mediterránea, y norte de Escandinavia (Emberlin, 1994). Por otro lado, el cambio climático puede prolongar o acortar las estaciones polínicas, aumentar o disminuir la intensidad de polen en la atmósfera así como modificar, las características de las plantas y su distribución (Jager *et al.*, 2009). También, diversos autores destacaron el vínculo entre dicho fenómeno y la actividad alérgica que existe en la atmósfera de determinados tipos polínicos (Singer *et al.*, 2005; Shea *et al.*, 2008; Cecchi *et al.*, 2010; Bielory *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015). Hjelmroos *et al.* (1995) examinaron la heterogeneidad de las proteínas antigénicas y los alérgenos en abedules blancos (*Betula pendula*) mediante el estudio de ejemplares de árboles que vivían en hábitats con temperaturas medias diferentes durante el periodo de polinización debido a las diferencias altitudinales. La diferencia de temperatura fue aproximadamente de entre 1.0 a 2.5 °C. Los autores

encontraron una alergenidad significativamente más alta en el polen de los ejemplares que crecían en ambientes con temperaturas más elevadas.

## 1.8. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 1.8.1. Situación geográfica

La provincia de Málaga está situada en el sur de la Península Ibérica. Limita al norte con el valle de Guadalquivir, por el oeste con las colinas del campo de Gibraltar y la serranía de Cádiz, y por el Este tiene frontera con la provincia de Granada mediante la alineación montañosa de las sierras Tejeda y Almijara. Por el sur, limita con el mar Mediterráneo, con el que se funde a lo largo de una costa de 180 km de largo.

### 1.8.2. Biogeografía

En términos biogeográficos, nuestra aérea de estudio se localiza en la Provincia Bética, dentro de la Subregión Mediterránea-Occidental, a su vez incluida en la Región Mediterránea. Teniendo como base las referencia Nieto Caldera *et al.* (1991) y Pérez Latorre & Cabezudo (2002), esta zona pertenece al sector Malacitano-Axarquense, que comprende las comarcas geográficas de la Axarquía, Montes de Málaga, Hoya de Málaga y Valle del Guadalhorce (Fig. 1.3).

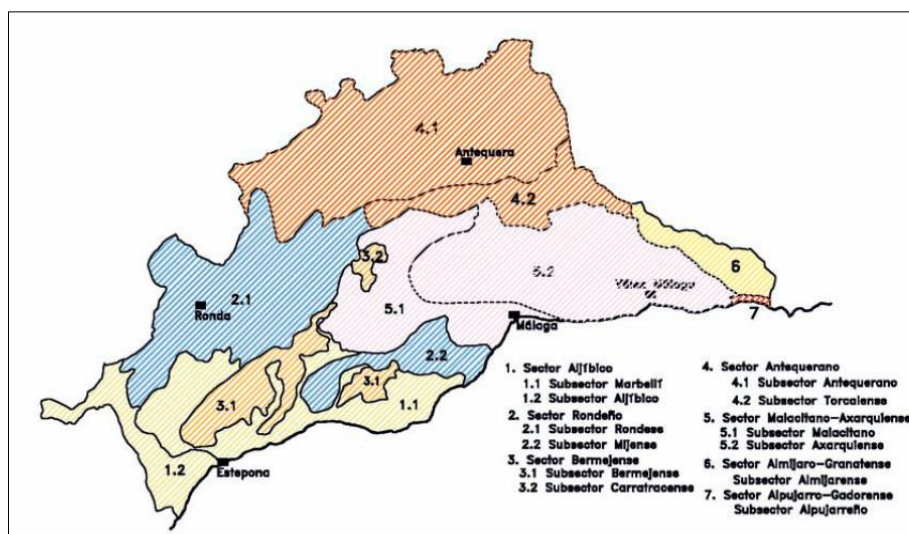
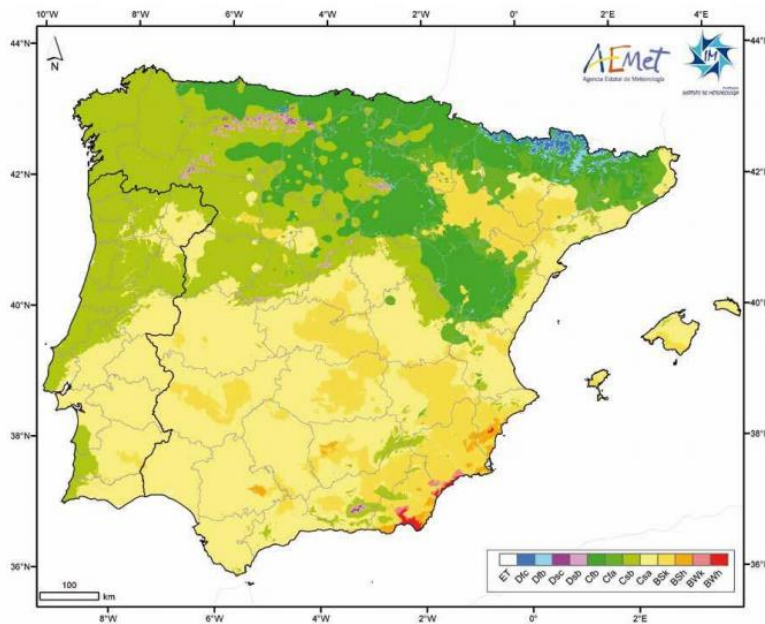


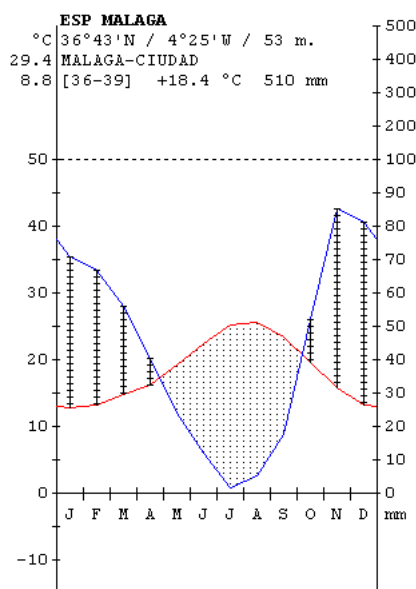
Figura 1.3. Mapa fitogeográfico de la provincia de Málaga (Pérez Latorre & Cabezudo, 2002).

### 1.8.3. Climatología

Desde el punto de vista climatológico, y según la clasificación de Köppen-Geiger (Fig. 1.4), la ciudad de Málaga se caracteriza por un clima de tipo templado mediterráneo pluviestacional oceánico, cuyos aspectos principales son los de tener inviernos suaves y lluviosos, sin heladas, junto con veranos secos y calurosos (**Csa**) (Agencia Estatal de Meteorología, 2011). La temperatura media del mes más cálido es de 25,5°C y la media de las máximas es de 29,4°C, mientras que la media del mes más frío es de 12,6°C y la media de las mínimas del mes más frío es de 8.8°C (Rivas-Martínez & Rivas-Sáenz 1996-2009) (Fig. 1.5).



**Figura 1.4.** Clasificación climática de Köppen-Geiger en la Península Ibérica e Islas Baleares (AEMET, Atlas climático Ibérico, 2011).



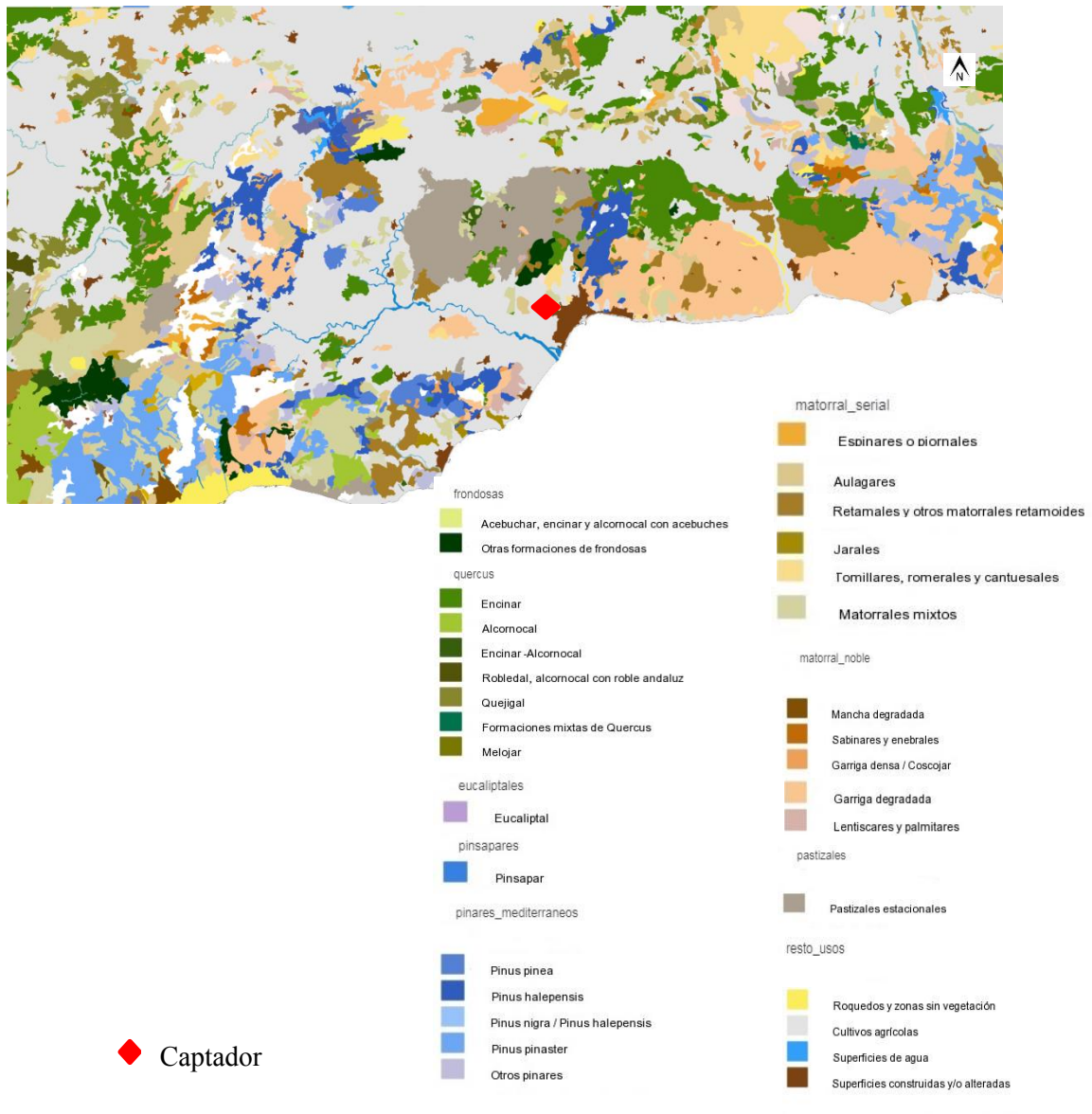
**Figure 1.5.** Diagrama ombroclimático de la ciudad de Málaga. (Rivas-Martínez, 1987).

#### 1.8.4. Vegetación

Nuestra área de estudio es un claro ejemplo del paisaje mediterráneo-occidental y bético andaluz, pero tiene relaciones fitogeográficas con el norte de África, sobre todo con la península Tingitana y el Rif, con la parte atlántica de la península Ibérica y, muy puntualmente, con el litoral oriental ibérico (Pérez Latorre, 2009). En la vegetación natural del entorno donde se encuentra ubicada la estación de muestreo aerobiológico (Fig. 1.6), abundan especies ruderales y nitrofilas, zonas de pastizal y cultivos abandonados o semiabandonados, además de abundante flora ornamental. La zona de vegetación natural más extensa próximas al captador, es de la superficie de los Montes de Málaga, que está mayormente ocupada por repoblaciones de pino carrasco (*Pinus halepensis*), fruto de las actuaciones realizadas en los años treinta del pasado siglo para evitar las inundaciones que afectaban a la ciudad de Málaga. También existen plantaciones próximas que, en su mayor parte se corresponden con olivares (*Olea europaea*), y en menor grado, con almendros (*Prunus dulcis*) e higueras (*Ficus carica*). Por otro lado, cabe destacar la presencia de forma dispersa y reducida de algarrobos (*Ceratonia siliqua*). Por otro lado, cabe reseñar la flora ornamental presente en toda la zona urbana, predominando fundamentalmente especies tropicales y subtropicales, bien adaptadas al clima de Málaga, entre las cabe destacar *Platanus hispanica* Miller ex Münch, *Cupressus sempervirens* L., *Casuarina cunninghamiana* Miq, *Olea europaea*, *Phoenix canariensis* Chabaud, *Washingtonia filifera* Wendl, *Washingtonia robusta* Well, como árboles de interés aerobiológico frecuentes en calles y jardines.

Por otra parte, en la Hoya de Málaga y Valle del Guadalhorce se localizan los cultivos de regadío, predominantemente frutales, con dominancia de cítricos y cada vez mayor presencia de especies tropicales (aguacates, mango, chirimoyas, etc.). Además, de forma más dispersa, y como consecuencia de las acciones de laboreo y alteraciones realizadas por el hombre a lo largo de los siglos, son frecuentes los cultivos de almendros, vid y olivos, así como el uso ganadero que le han dado a estas tierras.

Hay que destacar que en la zona norte aparecen pinos carrascos mezclados con encinas, alcornoques y quejigos, especies mediterráneas que colonizaban este espacio antes de su degradación, lo que demuestra que se está produciendo una recuperación de su vegetación potencial. Los bosques de encinas termomediterráneas a menudo se encuentran sustituidos por matorrales abiertos, con escaso grado de cobertura, en los que destacan la bolina (*Genista umbellata*), tomillos (*Thymus mastichina*, *Thymbra capitata*), aulgans (*Ulex parviflorus*), o el matagallo (*Phlomis purpurea*), entre otras muchas. También destacan piornales de *Ononis speciosa*, retamares (*Retama sphaerocarpa*) y cerrillares de *Hyparrhenia hirta*. En el piso mesomediterráneo encontramos madroñales (*Arbustus unedo*) como primera etapa de sustitución, los cuales, al desaparecer la cubierta arbórea y perderse el suelo se degrada y se instalan jarales (Recio & Altamirano, 2008).



**Figura 1.6.** Mapa del uso y cobertura del suelo en el entorno de la estación de muestreo (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>).



## 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS





### 2.1. Justificación

La prevalencia de enfermedades respiratorias, incluida la rinitis alérgica y el asma, se estima que puede llegar a alcanzar el 40% en países europeos (D'Amato *et al.*, 2007). El origen de este problema es complejo ya que se deben considerar múltiples factores, entre ellos la evolución de nuestra forma de vida y diversos cambios ambientales. Por ejemplo, los factores climáticos, junto con la contaminación del aire, producen una amplia gama de impactos en la vegetación, alterando fases fenológicas específicas y, en consecuencia, la producción y liberación de polen en el aire (D'Amato *et al.*, 2016).

Por otra parte, hoy en día el fenómeno del cambio climático es uno de los temas más recurrentes en la investigación científica. En relación con el polen, cuando se analizan series temporales de muestreo aerobiológico continuo, de 20 años o más, se observa que el calentamiento global detectado durante las últimas décadas está provocando un impacto sobre la fenología de las plantas, produciendo variaciones cronológicas de la estación de polinación de los tipos polínicos más representativos en la atmósfera y que mayor incidencia alérgica presentan en diferentes lugares de Europa (Frei & Leuschner, 2000; Levetin, 2001; Spieksma *et al.*, 2003; Menzel *et al.*, 2006; Damialis *et al.*, 2007; Cleland *et al.*, 2007; Jager *et al.*, 2009; Ziello *et al.*, 2012; Bonofiglio *et al.*, 2013).

No obstante, dentro de un territorio determinado, cada área presenta una serie de características en lo que se refiere a los patrones de polinación. En España, gracias al muestreo aerobiológico ininterrumpido, se dispone de una larga base de datos en buena parte de las estaciones que componen la Red Española de Aerobiología, por lo que se han realizado diversos trabajos relacionados con el comportamiento y evolución de los indicadores polínicos a lo largo del tiempo (Alcázar *et al.*, 2011; García-Mozo *et al.*, 2010 a; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2010; Oteros *et al.*, 2013; Fernández-Llamazares *et al.*, 2014; Cariñanos *et al.*, 2014; Galán *et al.*, 2016).

En concreto, el grupo de Aerobiología del Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga lleva trabajando y generando datos desde el año 1991, de manera ininterrumpida, realizando diversos estudios de análisis de la incidencia de diferentes tipos polínicos en la atmósfera de distintas localidades de la provincia de Málaga y sus relaciones con los parámetros meteorológicos, tanto a corto plazo (Recio *et al.*, 1996, Trigo *et al.*, 1996, Recio *et al.*, 1999; Recio *et al.*, 2001; Melgar, 2010), como a largo plazo de taxones como Urticaceae (Recio *et al.*, 2009), Poaceae (Recio *et al.*, 2010) o *Quercus* (Recio *et al.*, 2018).

Por último, otro punto interesante que se aborda en la presente tesis, es el de la comparación de la metodología utilizada en los recuentos de polen por las diferentes redes aerobiológicas. Para comparar los resultados de dos estaciones aerobiológicas diferentes, es necesario que todo el proceso de recogida de muestras, montaje y recuento de los granos de polen se realice siguiendo la misma metodología. Aunque los métodos de muestreo y montaje de las muestras son similares en toda Europa, existen diferencias en cuanto al método de recuento de los granos de polen. Es por ello que nos hemos planteado la comparación de dicha metodología entre las dos redes más importantes que operan en el ámbito mediterráneo: el de la Red Española de Aerobiología (REA) (Galán *et al.*, 2007) y el de la Rete Italiana di Monitoraggio Aerobiológico (RIMA) (Mandrioli, 1994; UNI, 2004; Travaglini *et al.*, 2009), para detectar si existen o no diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos.

En base a todo lo anteriormente expuesto, estimamos que era el momento oportuno para la realización de un estudio más completo acerca de la evolución que habían seguido en la atmósfera de Málaga los diferentes tipos polínicos a lo largo de los últimos 25 años y relacionar los resultados con el comportamiento de los principales parámetros meteorológicos.

De esta manera, los objetivos propuestos a la hora de diseñar y realizar esta Tesis Doctoral, se relacionan a continuación.

## 2.2. Objetivos

1. Realizar un estudio cualitativo y cuantitativo del contenido polínico de la atmósfera de Málaga a lo largo de 25 años de muestreo continuado (1991-2015), analizando la evolución estacional del polen total y de cada uno de los tipos polínicos identificados, así como las diferencias interanuales y la distribución intradiaria de los tipos predominantes en la localidad.
2. Analizar la evolución de los parámetros meteorológicos durante la misma serie temporal, para conocer su influencia sobre la intensidad y estacionalidad de estos tipos polínicos estudiados.
3. Estudiar las relaciones existentes entre las concentraciones polínicas y los principales parámetros meteorológicos mediante estudios de correlación y regresión, a fin de establecer modelos de pronóstico para los principales tipos polínicos.
4. Analizar las posibles tendencias detectadas, mediante el estudio de la dinámica de los tipos polínicos más abundantes en la atmósfera de Málaga y, consecuentemente, determinar su posible relación con el fenómeno de cambio climático.
5. Establecer un calendario polínico con todos los datos recopilados durante el periodo 1992-2015.
6. Realizar un estudio comparativo entre la metodología empleada para los recuentos polínicos por las redes de aerobiología española e italiana.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**



### 3.1. MUESTREO AEROBIOLÓGICO

Para llevar a cabo este trabajo, se ha utilizado la base de datos históricos facilitada por el departamento de la Biología Vegetal de la Universidad de Málaga, usándose los datos del año 1991-2013, a los que se añadieron dos años más, 2014 y 2015, para obtener un periodo de estudio de 25 años.

#### 3.1.1. Características de la estación de muestreo

El estudio del contenido polínico de la atmósfera de la ciudad de Málaga se realizó durante las 24 horas del día, los 365 días del año, mediante captadores volumétricos de tipo Hirst (1952). Inicialmente un captador de la marca Burkard® Ltd., modelo 7-day que se instaló en la azotea del edificio de la Facultad de Medicina (Campus Teatinos) y se puso en marcha en el 10 de mayo 1991. Posteriormente, por problemas técnicos, el aparato se reinstaló en la azotea de la Facultad de Ciencias (Campus Teatinos) en julio del año 2000 situándose a 150 m de distancia de la primera ubicación, ambos a unos 15 metros de altura sobre el nivel del suelo. Dicho aparato se sustituyó más tarde por el modelo VPPS 2000 de la marca Lanzoni. Desde el momento de su colocación, los aparatos han mantenido su funcionamiento ininterrumpidamente.

El actual muestreador de tipo Hirst, se localiza en la ciudad de Málaga, coordenadas 36° 43' 10'' N, 4° 25' 12'' O, a unos 15 metros de altura sobre nivel del suelo. El captador se sitúa a unos 2 kilómetros al oeste del centro urbano en una zona abierta y sin edificios cercanos que impidan la libre circulación del aire (Fig. 3.1).

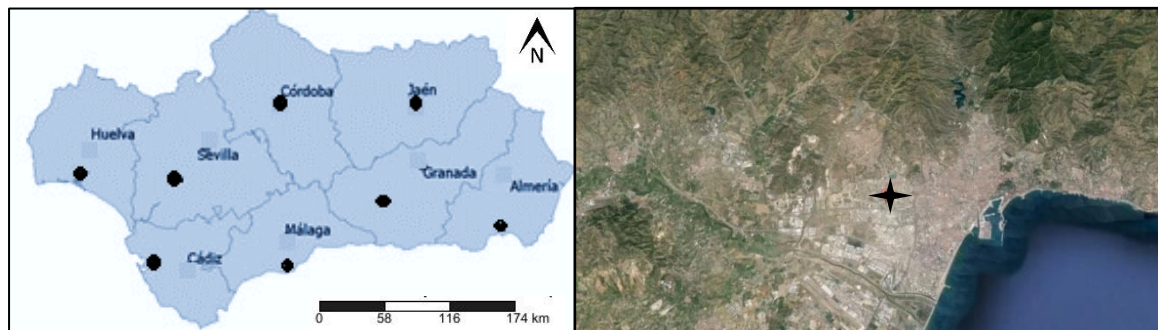


Figura 3.1. Ubicación de la estación de muestro aerobiológico en la provincia de Málaga.

#### 3.1.2. El muestreador de tipo Hirst

En este aparato, de succión impacto, las partículas son aspiradas de forma activa por media de una bomba de succión a través de un orificio que el captador posee a tal efecto (Fig. 3.2), de tal manera que impactan y quedan adheridos a una cinta transparente de Melinex® cubierta de una sustancia adhesiva dispuesta sobre un rodillo que gira, gracias a un sistema de relojería, a razón de 2 mm/h. Posteriormente, esta cinta impactada se procesa para poder examinarla al microscopio óptico.



**Figura 3.2.** Captador situado en la azotea de la Facultad de Ciencias en el Campus de Teatinos. Universidad de Málaga.

### 3.1.3. Sustancia adhesiva

El fluido de silicona (silicona disuelta al 2% en  $\text{Cl}_4\text{C}$ ) es la sustancia adhesiva empleada en nuestro estudio, siendo además la recomendada por la Red Española de Aerobiología (REA) (Galán *et al.*, 2007). Muestra una gran estabilidad en un amplio rango de temperaturas [-20 °C a +150 °C] (Galán & Domínguez-Vilches, 1997) y al ser líquido a temperatura ambiente, es de fácil y rápida aplicación mediante el empleo de un pincel, lo que permite formar una película fina y uniforme sobre la cinta de Melinex®. Esto es debido a que la silicona se encuentra disuelta en tetracloruro de carbono, un disolvente orgánico, que se evapora rápidamente, permaneciendo esta silicona como agente adhesivo. Esta sustancia debe ser aplicada bajo la protección de una campana de gases. Recientemente, debido a la prohibición de utilizar el  $\text{Cl}_4\text{C}$  como disolvente, se ha sustituido por ciclohexano (Trigo *et al.*, 2015). Para el montaje-desmontaje de la cinta de Melinex® se usa un soporte giratorio, facilitando así su manipulación. El tambor queda fijado al soporte por medio de una tuerca, lo que facilita la tarea de cambiar la cinta impactada y aplicar sobre la nueva, la sustancia adhesiva.

## 3.2. PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LAS MUESTRAS DIARIAS

En el laboratorio, se procede a la preparación de las muestras diarias (Fig. 3.3). Se retira del tambor la cinta Melinex® impactada con la ayuda del soporte giratorio anteriormente comentado y unas pinzas. La cinta se deposita sobre una regleta de metacrilato con precaución de que la parte impactada quede hacia arriba. Ésta se fija a la regleta por sus extremos no impactados, mediante cinta adhesiva. La regleta utilizada presenta unas hendiduras transversales cada 48 mm, correspondiente a 24 horas de muestreo. Se corta la cinta mediante una cuchilla en 7 fragmentos de 48 mm que corresponden a los 7 días de la semana, para ser montados posteriormente sobre portaobjetos respetando el sentido original de la cinta mediante la identificación de las posiciones de inicio y final del muestreo. El medio de montaje utilizado es glicerogelatina coloreada con fushina básica.



**Figura 3.3.** Distintos pasos del proceso del montaje de las muestras.

### 3.3. ANÁLISIS CUALITATIVO

En aerobiología, la correcta identificación de los tipos polínicos colectados tiene una gran importancia. Así, es indispensable tener un buen conocimiento de la flora presente tanto en el entorno cercano como lejano del área geográfica en la que el captador está situado, debido a que el polen de origen alóctono puede tener una incidencia importante.

Para llevar a cabo tanto el análisis cualitativo como cuantitativo de las muestras diarias se utilizó un microscopio óptico binocular de campo claro de la marca Nikon, modelo SE, dotado de regleta micrométrica. Para la identificación de los diferentes granos de polen que aparecen, este microscopio está equipado con oculares 10x y objetivos 4x, 10x y 40x. Los dos primeros se utilizan para iniciar el enfoque, mientras que el último se usa para la identificación y recuentos, barriendo la preparación de izquierda a derecha con un aumento final de 400x.

La identificación de los diferentes tipos polínicos se ha realizado mediante bibliografía especializada que incluyen ilustraciones, fotografías, claves y descripciones morfológicas. Igualmente se ha consultado la palinoteca de referencia del Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga incluida en el Herbario MGC (García-Sánchez & Cabezudo, 2014), que recoge la mayoría de los tipos polínicos que aparecen en la zona. También se consultó una serie de trabajos de morfología polínica (Trigo, 1989, 1992); Trigo & García (1990); Trigo *et al.*, (1990) y Trigo & Fernández (1994, 1995) y atlas polínicos (Valdés *et al. eds.*, 1987; Trigo *et al.*, 2008).

A la hora de analizar las muestras con el microscopio óptico, ha sido difícil distinguir en muchos casos entre los granos de polen que posean una morfología polínica similar, razón por la cual se ha considerado el término “tipo polínico”, llamando así al polen procedente de especies vegetales perteneciente a una misma categoría taxonómica (familia, género, especie con similar morfología). Así el “tipo Parietaria” corresponde a las especies pertenecientes al género *Parietaria* y al género *Urtica* excepto para *Urtica membranacea*, que por su morfología característica se cuenta de modo independiente.

El tipo Compositae incluye a todas las especies de la familia Compositae, excepto el género *Artemisia*. Y el tipo Cupressaceae, engloba a la familia Cupressaceae junto a Taxaceae y Taxodiaceae. Finalmente, el tipo Chenopodiaceae-Amaranthaceae, como su nombre indica, incluye los pólenes de las familias Chenopodiaceae y Amaranthaceae (ahora ambas dentro de Amaranthaceae). En aquellos casos en los que la identificación ha sido imposible, bien por el grado de deterioro del grano de polen o por la presencia de otras partículas que dificultaban su visión, los recuentos se incluían en la categoría especial denominada “pólenes indeterminados”.

### 3.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO

La metodología elegida para el recuento de los granos de polen ha sido la recomendada por Red Española de Aerobiología (Galán *et al.*, 2007), que consiste en la lectura de 4 barridos longitudinales a 400X, de forma que la superficie analizada sea de al menos el 10% de la superficie total de la muestra (Mandrioli *et al.*, 1998). La lectura de las muestras se realizó longitudinalmente, coincidiendo con el orden cronológico horario.



Una vez realizados los recuentos mediante la lectura de los cuatro barridos al microscopio óptico, es necesario extrapolar los resultados obtenidos del recuento de polen del área leída al total de la muestra. Para ello, se utiliza un **factor de corrección** que nos permite expresar los resultados en número de granos de polen por metro cúbico de aire (granos de polen/m<sup>3</sup>, concentración media diaria; g.p./m<sup>3</sup>). Para ello, debemos calcular la superficie de la cinta que leemos frente a la superficie total de la misma, para las 24 horas de muestreo a las que corresponde cada preparación y establecer la ratio existente entre ambas superficies.

### Cálculo del factor de corrección:

La superficie total impacta durante las 24 horas de muestreo corresponde al cálculo del área de un rectángulo, donde la altura sería la anchura de la boquilla de entrada de aire en el captador del polen (14 mm), mientras que la base es el resultado del avance de la cinta durante las 24 horas del día, a razón de 2 mm/h. De esta manera obtenemos:

$$14\text{mm} \times 2 \text{ mm/h} \times 24 \text{ h} = 672 \text{ mm}^2$$

Por otra parte, se calcula el valor del área de recuento. Teniendo cuenta que el diámetro del campo del microscopio empleado con un objetivo de 40X es de 0,45 mm y en la lectura de las muestras se realizó siguiendo 4 barridos:

$$0,45 \text{ mm} \times 2 \text{ mm/h} \times 24 \text{ h} \times 4 \text{ barridos} = 86,4 \text{ mm}^2$$

Además, para poder expresar la concentración de polen en número de granos de polen por metro cubico de aire, es necesario calcular el volumen de aire que entra al aparato durante las 24 horas de muestreo. Teniendo en cuenta que el caudal de aire es de 10 l/min, resulta:

$$10 \text{ l/min} \times 60 \text{ min} \times 24 \text{ h} = 14.400 \text{ l} = 14,4 \text{ m}^3$$

Por último, el factor de corrección que nos permite obtener la concentración media diaria de polen es:

$$F_c = \frac{672 \text{ mm}^2 / 86,4 \text{ mm}^2}{14,4} = 0,54$$

Finalmente, se procede a la informatización en una hoja de cálculo Excel de las concentraciones medias diarias en una base de datos para su posterior elaboración y tratamiento estadístico.

Recientemente, se ha realizado un trabajo de comparación entre la metodología propuesta por la Red Española de Aerobiología (REA) y la seguida por la Red Italiana de Monotorio Aerobiologico (RIMA), que es ligeramente diferente (Gharbi *et al.*, 2017), encontrándose diferencias significativas entre los resultados obtenidos, lo cual ha servido para validar aún más la metodología utilizada.

### 3.5. TRATAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS POLÍNICOS

En la atmósfera de la ciudad de Málaga, se ha analizado el comportamiento de 35 tipos polínicos de forma continua desde el año 1992 hasta el año 2015, ambos inclusive, excepto para los tipos *Urticaceae membranacea* y *Brassicaceae* que debido a la ausencia de los datos de los años 1992, 1993 y 1994, se analizó el comportamiento desde 1995 hasta 2015. Los tipos polínicos identificados han sido separados en cuatro grupos de taxones en función de la abundancia cuantitativa en la atmósfera con respecto al total polínico registrado durante el conjunto de los años estudiados. El primer grupo, denominado “tipos polínicos principales”, comprende aquéllos que han alcanzado o superando el 1% del espectro total durante los años estudiados, por lo que se realizó un estudio exhaustivo del comportamiento de cada uno de estos tipos polínicos que incluye estudios de variación interanual, estacional (periodo principal de polinación, inicio y final de la estación, día y valor pico, números de días con diferentes concentraciones polínicas, etc...) e intradiaria, las tendencias de los parámetros del periodo de polinación principal (PPP) durante la serie temporal, así como los análisis estadísticos de correlación y regresión. El segundo grupo, denominado “tipos secundarios”, corresponde a aquellos que no presentan un elevado nivel de abundancia, con una representación entre 0,5-1% del espectro polínico total. Por este grupo se hizo el análisis de la variación interanual y estacional, mensual y estudio de la tendencia de los índices polínicos anuales (IPA) de la serie estudiada. El tercer grupo, denominado “tipos minoritarios”, incluye aquellos que representan entre 0,1-0,5% del total anual, mientras que el cuarto grupo, denominado “tipos raros” representa los tipos polínicos con un porcentaje inferior a 0,1%. Para los últimos grupos, se ha realizado un análisis de la evolución interanual, estacional y evaluación de la tendencia de IPA durante el periodo estudiado.

Dentro de cada grupo, los diferentes tipos polínicos se presentan en orden alfabético en el capítulo de resultados. Para cada taxón se elaboró una ficha que incluyó una breve descripción botánica, utilizando diversas guías y floras (Blanca *et al.*, 2001; Castroviejo *et al.*, (1986-2012)), como trabajos sobre fenología y vegetación realizados en el Departamento de Biología Vegetal (Trigo 1984, 1992; Recio, 1995), tipo de polinización y periodo de floración y, las especies más frecuentes dentro de cada tipo polínico, por lo cual se utilizó el atlas aeropolínico de España (Trigo *et al.*, 2008). Además, se ha incluido una descripción de la morfológica del grano de polen empleando básicamente la terminología de Erdtman (1952, 1966, 1969, 1986).

#### 3.5.1. Variación interanual y estacional

Para mostrar la variación interanual de los niveles de polen de cada uno de los tipos polínicos principales registrados a lo largo de los diferentes años de estudio, se han realizado tablas en las que se incluyen el índice polínico anual (IPA) y % del tipo polínico frente al total anual, así como la semana pico, para caracterizar la dinámica de cada tipo polínico. El IPA se ha definido como la suma de las concentraciones medias diarias durante cada año.

Además, se han realizado gráficas tanto para mostrar el patrón promedio de las concentraciones medias diarias de cada tipo polínico, como los índices polínicos mensuales obtenidos durante los meses de máxima producción polínica.

Para estudiar la evolución estacional de cada tipo polínico a lo largo de los distintos años se han realizado graficas mostrando las concentraciones medias diarias junto con el promedio del conjunto de los años de estudio (1992-2015). Por otra parte, dado que cada uno de los tipos polínicos estudiados tiene una gran importancia desde el punto de vista alérgico, se realizó un análisis estudiando el número de días con diferentes niveles de concentraciones polínicas basado en las 4 categorías establecidas en el Manual de Calidad y Gestión de la REA (Galán *et al.*, 2007).

### 3.5.2. Periodo de Polinación Principal (PPP)

Para realizar un estudio del comportamiento aerobiológico de los distintos tipos polínicos, es necesario delimitar la estación polínica de una determinada especie en una zona dada y determinar sus periodos de máxima emisión polínica definida como Periodo de Polinación Principal (PPP). El periodo pre-pico se ha definido como el periodo que transcurre entre el día de inicio del PPP y el día en que se alcanza la concentración pico. El periodo post-pico se ha considerado aquel entre el día pico y el fin del PPP, ambos incluidos.

Con la finalidad de poder establecer un mejor análisis estadístico, se ha obtenido el PPP para los tipos polínicos principales en función de los niveles alcanzados en la atmósfera de Málaga (aquellos o bien que sobrepasan el 1% del polen total). De hecho, en este estudio, se calculó el PPP para 13 tipos polínicos. El criterio utilizado para determinar los días de inicio y final del periodo de polinación, y por tanto la duración del PPP, fue la metodología propuesta por Anderson (1991), que consiste a eliminar las colas de los porcentajes acumulados para cada taxón dejando el 95% del total, de forma que el inicio del periodo de floración se establece el día que alcanza o se supera el 2,5% del polen total anual y finaliza el día que se obtiene o se sobrepasa el 97,5% de total. Por otro parte, se ha determinado la duración del periodo de polinación definiéndolo como el número de días que transcurre desde la fecha de inicio del PPP hasta la fecha final del PPP. Además, el día pico se considera como la fecha del día en el que se registra el valor medio diario más alto, es decir, el valor pico.

Para la mayor parte de los tipos polínicos, el PPP se ha establecido en base al año oficial (del 1 enero hasta 31 diciembre) analizando el periodo comprendido entre 1992-2015, pero para algunos taxones cuyo periodo de floración transcurre a lo largo del otoño e invierno, tal como ocurre en el caso de Cupressaceae y de *Parietaria*, se ha tomado un periodo de doce meses comprendidos desde el 1 de octubre de un año hasta 30 de septiembre del año siguiente, con el objetivo de obtener un PPP sin interrupciones. Por otra parte, en el caso del *Casuarina* se ha tomado un periodo comprendido desde el 1 de septiembre de un año hasta 30 de agosto del siguiente, de este modo se han incluido los datos del año 1991 permitiendo analizar un total de 25 años (1991-2015). Cabe mencionar que para el tipo *Urtica membranacea*, se ha establecido el PPP analizando el periodo entre 1995-2015 por ausencia de datos durante los años 1992 al 1994.

Por último, los resultados correspondientes al análisis del PPP, se muestran en una tabla resumen en la que aparece la fecha de inicio y final del periodo de polinación, así como su duración, el polen total definido como el índice polínico (IP) registrado tanto durante el PPP, la fecha y valor del día pico, la duración de los periodos pre-pico y post-pico; el día pico ha sido incluido en el periodo de post-pico, así como los índices polínicos alcanzados durante los mismos.

### 3.5.3. Variación intradiaria

Para conocer la evolución de las concentraciones de polen atmosférico de los tipos polínicos más relevantes (aquellos que superan el 1% del polen total) a lo largo de las 24 horas del día, se han establecido modelos o patrones de variación intradiaria. Para la elaboración de esos modelos, se han tomado todos los días sin precipitación, cuya concentración media diaria fue igual o superior a la concentración media del PPP. Para ello, se elaboró un matriz de datos cuyas columnas representan los recuentos polínicos horarios y las filas los días libres de precipitaciones. A continuación, se suman los recuentos obtenidos para cada intervalo horario y se expresan, en porcentajes, lo que nos permite obtener una curva patrón para cada taxón correspondiente a cada año de estudio. Para los taxones cuyo PPP ha sido calculado en base a un periodo anual transcurrido de octubre a septiembre, la variación intradiaria se ha estudiado partiendo de dicho PPP y reunificando los valores de un mismo año, conservando de este modo, los datos del periodo total de estudio. Los datos han sido expresados en porcentajes acumulados de 2 horas para obtener un comportamiento más general. También, se ha procedido al cálculo de IDI (Índice de Distribución Intradiaria) (Trigo *et al.*, 1997).

### 3.5.4. Análisis de las tendencias de los parámetros que definen el PPP

Las tendencias son componentes determinísticos transitorios que se definen como el cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información, que afecta las distribuciones y dependencias de la serie, es decir, si hay un cambio ascendente o descendente en la muestra estudiada, entonces se produce una tendencia positiva o negativa (Morales, 2009). Una de las pruebas más comunes para detectar tendencias es el método de regresión lineal, empleada en muchos estudios de Aerobiología y de Fenología, que han tenido como objetivo el análisis de la tendencia en series temporales (Carriñanos *et al.*, 2004a; Alcázar *et al.*, 2009; Recio *et al.*, 2010; García-Mozo *et al.*, 2010b), mientras que la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ha sido usada ampliamente en ciencias ambientales debido a que puede analizar datos sin importar la distribución y datos perdidos (López-Bustins *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2008; Del Río *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2011). En este trabajo, para la determinación de las tendencias tanto del índice polínico anual (IPA), y otros parámetros del PPP (inicio, final, duración, día y valor pico) así como de los números de días con diferentes niveles de concentraciones polínicas de los tipos polínicos principales, se ha optado por analizar las series de datos usando el test paramétrico de regresión lineal y también el test no paramétrico de *Mann-Kendall* (MK) (Kendall, 1975). Aunque ambos son métodos robustos para la detección de las tendencias, el test de MK se muestra más adecuado por el hecho de que no necesita una previa verificación de la normalidad de los datos.

Para el cálculo del test de *Mann-Kendall*, se consideró la hipótesis nula ( $H_0$ ): no hay tendencia en la serie y como hipótesis alternativa ( $H_a$ ): existe tendencia en la serie, con un nivel de confianza de 95%. Posteriormente, para conocer el incremento o disminución por unidad de tiempo, se utilizó el test no paramétrico propuesto y descrito por Sen (1968) que complementa al test de *Mann-Kendall* el cual permite cuantificar la tendencia y estimar la pendiente media de la recta de tendencia lineal. Cabe mencionar que esos análisis se han establecido desde 1992 hasta 2015 para la mayoría de los tipos polínicos principales excepto en el caso de los tipos polínicos *Casuarina*, *Cupressaceae* y *Parietaria*, en que se ha analizado la tendencia durante los años 1991-2015.

Los resultados de la regresión lineal se acompañan del cálculo de la ecuación de regresión, del coeficiente de determinación  $R^2$  y valor de  $p$  asociado, mientras que los resultados del test no paramétrico *Mann-Kendall* se muestran en una tabla con el estadístico *Kendall* ( $Z$ ) y la pendiente de *Sen* ( $Q$ ). El signo del estadístico *Kendall* muestra si la tendencia es positiva o negativa. El nivel de significación considerando por ambas pruebas es el valor de  $p \leq 0,05$ .

### 3.5.5. Análisis de correlación

Se ha realizado el análisis de correlación para conocer el grado de asociación existente entre las concentraciones medias diarias de cada tipo polínico en la atmósfera de la ciudad de Málaga y los distintos parámetros meteorológicos, utilizando el test no paramétrico de *Spearman* que sustituye al análisis de correlación de *Pearson* cuando las muestras de una variable no se ajustan a una distribución normal. Los valores de los coeficientes de correlación varían entre 1 y -1. El grado de asociación entre las variables analizadas es más fuerte cuanto más se aproxime a 1 en valor absoluto. Por otra parte, el signo que presente nos indica el tipo de asociación entre las variables, es decir una correlación positiva indica que las variables varían en el mismo sentido y si es de signo negativo indica que varían en sentido contrario. En nuestro caso el grado de significación, se ha tomado para  $*p \leq 0,05\%$ ,  $**p \leq 0,01\%$ ,  $***p \leq 0,001\%$ .

Los parámetros meteorológicos empleados para llevar a cabo el análisis de la correlación han sido las precipitaciones (Precip.), las temperaturas medias ( $T^a$  med), máximas ( $T^a$  max) y mínimas ( $T^a$  min), las horas de sol (H.S), la humedad relativa (H.R), la velocidad media del viento (Vel. Med. Vt), porcentajes de viento de los distintos cuadrantes (% Vto.  $1^\circ\text{C}$ , % Vto.  $2^\circ\text{C}$ , % Vto.  $3^\circ\text{C}$ , % Vto.  $4^\circ\text{C}$ ) y % de Calmas. Las correlaciones se han realizado para los principales taxones considerando el criterio  $\geq 1\%$  de abundancia durante los años estudiados anteriormente mencionados. Estos análisis se han efectuado entre los parámetros meteorológicos y las concentraciones medias diarias del PPP tomando los datos del conjunto de los años estudiados. Igualmente, dichos análisis se han efectuado entre las concentraciones medias diarias de los principales tipos polínicos durante los periodos pre-pico y post-pico, por separado.

A continuación se realizó un análisis de autocorrelación simple para ver si existían asociaciones entre los diversos valores observados de la misma serie que están distanciados entre sí por diferentes lapsos de tiempo, estableciéndose un número  $n$  de correlación entre un valor tomado en un tiempo  $t$  y el valor  $t-1$ ,  $t-2$ , ...,  $t-n$ ; permitiendo obtener una serie de coeficientes de autocorrelación (con valores que oscilan entre -1 y 1, al igual que en las correlaciones). Estas autocorrelaciones se han representado en un diagrama de barras, con los diferentes retardos empleados que nos indican la mayor o menor asociación existente entre los valores de un día con los del día previo, o con el de los días anteriores, lo que facilita la información sobre el número de retardos que debemos incluir como variables en los posteriores análisis de regresión. Los valores estadísticamente significativos se toman a un intervalo de confianza del 95%. Además, se realizaron autocorrelogramas parciales que establecen correlaciones entre parejas de valores separados por una determinada distancia de tiempo, pero eliminando el efecto debido a la correlación producida por retardos anteriores intermedios entre dicha pareja de valores.

### 3.5.5. Modelos de pronóstico

Con el fin de intentar predecir las concentraciones medias diarias de los tipos polínicos principales, se realizaron análisis de regresión múltiple utilizando el método “por pasos”. El resultado de este análisis son ecuaciones lineales que predicen las concentraciones en función de variables independientes, las cuales se introducen progresivamente a lo largo del proceso. El programa estadístico elige qué variable se debe introducir en cada paso, de forma que se seleccionan aquellas variables que mejor expliquen la variabilidad de la serie. Se optó por elegir los mejores modelos, es decir, los que presentan un mayor coeficiente de determinación y un valor de  $p$  estadísticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ).

En este trabajo, este análisis se realizó en dos etapas para mostrar cuáles eran las variables que influyen en la predicción de las concentraciones medias diarias del polen. Así, se ha desarrollado, en primer lugar, modelos empleando las concentraciones media diaria de polen como variable dependiente y los 12 parámetros meteorológicos que fueron utilizados en el análisis de correlación, como variables independientes. En segundo lugar, con el fin de mejorar los modelos, se incluyeron todas las variables meteorológicas, así como las concentraciones de los días previos que tuvieron mejor resultado en los análisis de autocorrelación, junto con otra variable que es la D-media (Dmed) (Recio *et al.*, 2002b) en la que se establece la concentración media de un día en concreto (según calendario) a partir de datos de varios años previos. Cabe mencionar, que para llevar a cabo este trabajo se analizó los datos del periodo del pre-pico de los tipos polínicos principales.

Para la realización de una regresión se requeriría que los datos fueran normales. Como ya se ha comentado previamente los datos polínicos no muestran distribución normal, por lo cual se deben transformar. En algunos casos, esas manipulaciones no consiguen mejorar el resultado final, ya que el proceso de destransformación de los datos incrementa los errores de los modelos de manera impredecible, como ya demostraron Toro *et al.* (1998). En este trabajo se ha optado por la no transformación de los datos a pesar de dicho inconveniente.

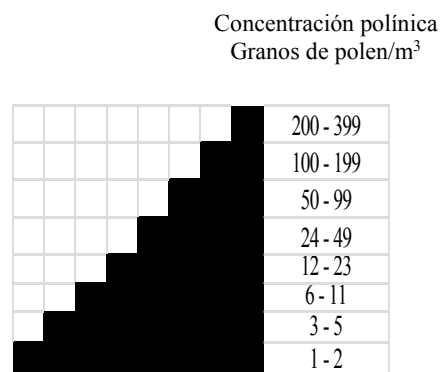
### 3.5.6. Validación del mejor modelo de pronóstico

Una vez identificado el mejor modelo, determinado por el procedimiento anterior, se ha procedido a su validación utilizando los datos del año 2016, en el que se comparan las concentraciones medias diarias del polen (estimadas) con los datos observados durante dicho año. Así, se analizó el gráfico de las concentraciones medias diarias del polen estimadas y observadas durante el periodo pre-pico. También, con el fin de comprobar la validez del modelo de pronóstico, se optó a calcular los coeficientes de correlación mediante la prueba de *Spearman* para analizar el grado de asociación entre las dos muestras, además de la prueba no paramétrica de *Wilcoxon*, cuantificar la concordancia entre las observaciones y las predicciones. La hipótesis nula del contraste ( $Z$ ) indica que las muestras proceden de la misma distribución de probabilidad; la hipótesis alternativa establece que hay diferencias entre las poblaciones. El nivel de significación considerando para ambas pruebas es el valor de  $p \leq 0,05$ .

### 3.5.7. Calendario polínico

A partir de los años estudiados de muestreo diario se puede elaborar un calendario polínico que, si bien puede presentar cierta variación de comportamiento de unos años a otros, nos permite una caracterización bastante aproximada de los tipos de pólenes que se detectan en la atmósfera de las ciudades sujetas a estudio, la época del año en la que aparecen, así como de cuando se alcanzan las mayores concentraciones. Esta información supone una herramienta de utilidad tanto para los alergólogos como para las personas que presentan problemas de alergia al polen.

Para la realización del calendario polínico de la ciudad de Málaga durante los años 1992-2015, se ha seguido el modelo propuesto por Spieksma (1991a) para el comité de Aerobiología y Polen Alergénico de la Academia Europea de Alergología e Inmunología Clínica. El método se basa en divisiones decenales de cada mes (considerando que la tercera decena de contendrá 8, 9 días en el mes de febrero y 11 días en los meses de 31). A partir de los datos de concentraciones diarias se realiza la media aritmética decenal y se procede a continuación a agrupar los valores obtenidos para cada uno de los años muestreados. Posteriormente los distintos valores obtenidos se transforman en clases de crecimiento exponencial que se representan gráficamente mediante un histograma cuyos rectángulos poseen la misma longitud en la base, pero cuyas alturas son proporcionales a la concentración polínica creciente de cada clase (Fig. 3.4). La representación gráfica considera en el eje de abscisas los meses del año, desde enero hasta diciembre, y las distintas clases exponenciales consideradas, en el eje de ordenadas. El criterio seguido para la inclusión de un taxón en el calendario ha sido el de presentar, al menos, una clase exponencial igual o mayor a 1 granos de polen/m<sup>3</sup>. Los tipos polínicos incluidos en el calendario se dispusieron según el orden cronológico de aparición en la atmósfera. Esta estructuración permite una visión clara de los periodos de polinización de los distintos taxones a lo largo del año.



**Figura 3.4.** Rango de las clases utilizadas para la representación de las concentraciones medias decenales en el calendario polínico

### 3.6. OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

Para el presente estudio se han utilizado los datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) correspondiente a la estación meteorología del Aeropuerto de Málaga, situada a unos 5 km de la estación de muestreo aerobiológico. Las variables meteorológicas que se han considerado han sido:

### 1. Las Temperaturas (expresada en °C)

-T<sup>a</sup> max.: Temperatura máxima del día.

-T<sup>a</sup> min.: Temperatura mínima del día.

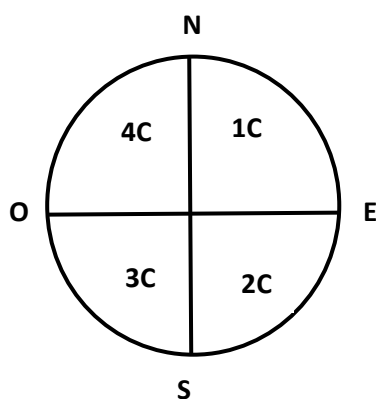
-T<sup>a</sup> med.: Temperatura media diaria (media de T<sup>a</sup> max. y T<sup>a</sup> min.).

### 2. Humedad relativa (H.R) expresada en %: humedad del aire de cada día.

### 3. Precipitación (expresada en mm): se ha utilizado la precipitación total diaria.

### 4. Horas de sol (H.S): se refiere al número de horas de sol que hay a lo largo del día.

### 5. Viento: se ha tenido en cuenta dos magnitudes: la velocidad y el % de la dirección del viento de cada uno de los 4 cuadrantes, incluidas las calmas (Fig. 3.5).



**Figura 3.5.** Disposición de los 4 cuadrantes.

Puesto que, en este trabajo se pretende relacionar las concentraciones polínicas con los principales parámetros meteorológicos, antes de proceder a analizar los resultados obtenidos en cuando a polen, se analizan los resultados obtenidos referentes a los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1991-2015). Se calcularon los promedios mensuales y anuales de las temperaturas (mínima, media, máxima) y la velocidad media del viento. Se presentaron las gráficas de la evolución anual de las temperaturas, la precipitación y los números de días con precipitación, las horas de sol, la humedad relativa y la velocidad media del viento, % de vientos por cuadrantes y la calma. Por otra parte, se realizaron gráficas de la evolución de los datos diarios de la humedad relativa, las horas de sol, temperaturas y precipitación. Por último, para tener una visión global del comportamiento de las variables meteorológicas a lo largo de los 25 años de estudio, se realizó un análisis de tendencia mediante un test de regresión de tipo lineal y un test de *Mann-Kendall* para evaluar la dinámica mensual en el caso de las temperaturas medias y las precipitaciones. El nivel de confianza ha sido 95% en ambas pruebas.



### 3.7. PROGRAMAS INFORMÁTICOS EMPLEADOS

Los programas informáticos utilizados han sido Microsoft Word para la elaboración y montaje de los textos, figuras y tablas. Microsoft Excel 2010 se ha utilizado para crear la base de datos de los diferentes tipos polínicos. Así, los datos han sido introducidos en hojas de cálculo, lo que ha facilitado la obtención de sumas, máximos, promedios, desviación típica (Desv. Típica), coeficiente de variación ( $\% Cv = \text{Desv. Típica} / \text{Media}$ ). Igualmente se ha utilizado este programa para la elaboración de las gráficas y el calendario polínico.

Para realizar los análisis estadísticos, se ha utilizado los programas informáticos IBM SPSS Statistics 21.0 de Windows para los análisis de correlaciones, y XLSTAT2016 para los análisis de tendencias. Las fotografías del microscopio óptico se realizaron con el Software X-Entry, mientras que el montaje de imágenes se realizó con el Software Moldiv.

## 4. RESULTADOS



#### 4.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

En este capítulo se presenta un análisis del comportamiento seguido por los parámetros meteorológicos durante el periodo de estudiado (1991-2015) los cuales presentan una influencia sea de forma positiva o negativa sobre los niveles de polen de la atmósfera de Málaga.

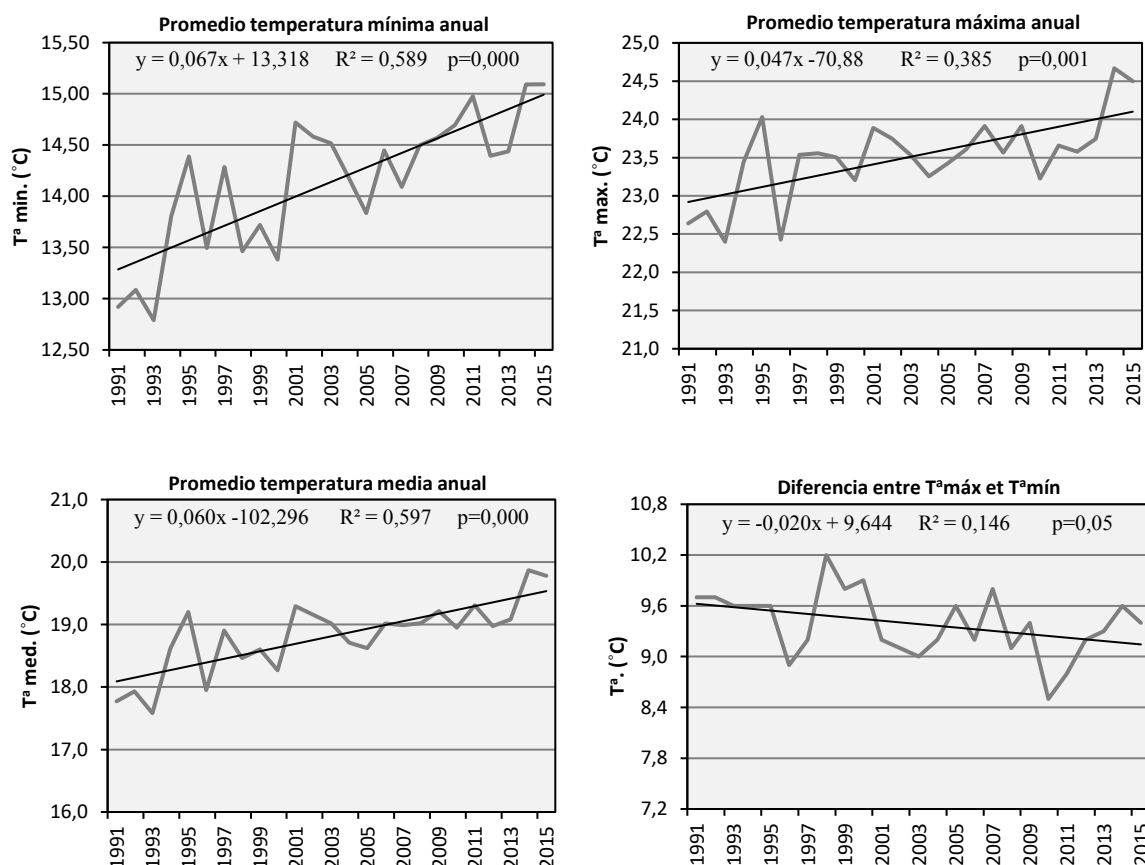
##### 4.1.1. Temperatura

Durante el periodo de estudio, el promedio de la temperatura media anual ha sido de 18,8 °C (Tabla 4.1), oscilando entre los 19,9°C en 2014 y los 17,6 °C en 1993. El promedio de la temperatura máxima anual ha oscilado entre un valor de 24,7 °C en 2014 y de 22,4 °C en 1993, alcanzando la máxima absoluta el 04/07/1994 con un valor de 44 °C. Los datos promediados de la temperatura mínima han fluctuado entre un valor de 12,8 °C en 1993 y 15,1°C en 2014 y 2015, registrando un valor absoluto de -1,2 °C el 01/03/1993.

|           | T <sup>a</sup> max. | T <sup>a</sup> med. | T <sup>a</sup> min. | Max. Abs.    | Min. Abs.    | T <sup>a</sup> max.-T <sup>a</sup> min. |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|---|
| 1991      | 22,6                | 17,8                | 12,9                | 40,6 (13/07) | 1,0 (14/01)  | 9,7                                     |
| 1992      | 22,8                | 17,9                | 13,1                | 38,2 (27/08) | -0,2 (25/01) | 9,7                                     |
| 1993      | 22,4                | 17,6                | 12,8                | 39,2 (07/08) | -1,2 (01/03) | 9,6                                     |
| 1994      | 23,4                | 18,6                | 13,8                | 44,0 (04/07) | 1,4 (25/12)  | 9,6                                     |
| 1995      | 24,0                | 19,2                | 14,4                | 39,8 (16/08) | 1,2 (14/01)  | 9,6                                     |
| 1996      | 22,4                | 17,9                | 13,5                | 39,4 (11/08) | 0,6 (23/02)  | 8,9                                     |
| 1997      | 23,5                | 18,9                | 14,3                | 36,4 (13/06) | 4,2 (05/12)  | 9,2                                     |
| 1998      | 23,6                | 18,5                | 13,4                | 38,4 (26/07) | 1,4 (30/11)  | 10,2                                    |
| 1999      | 23,5                | 18,6                | 13,7                | 39,8 (02/07) | 1,0 (20/01)  | 9,8                                     |
| 2000      | 23,2                | 18,3                | 13,3                | 41,0 (03/08) | 2,4 (23/01)  | 9,9                                     |
| 2001      | 23,9                | 19,3                | 14,7                | 40,0 (25/06) | 3,2 (28/12)  | 9,2                                     |
| 2002      | 23,7                | 19,1                | 14,6                | 38,8 (27/06) | 4,0 (02/02)  | 9,1                                     |
| 2003      | 23,5                | 19,0                | 14,5                | 40,5 (26/07) | 1,6 (02/02)  | 9,0                                     |
| 2004      | 23,3                | 18,7                | 14,1                | 38,2 (16/08) | 2,0 (20/01)  | 9,2                                     |
| 2005      | 23,4                | 18,6                | 13,8                | 40,4 (16/07) | -0,2 (27/01) | 9,6                                     |
| 2006      | 23,6                | 19,0                | 14,4                | 42,0 (31/07) | 2,2 (29/01)  | 9,2                                     |
| 2007      | 23,9                | 19,0                | 14,1                | 38,2 (03/07) | 1,0 (27/01)  | 9,8                                     |
| 2008      | 23,6                | 19,0                | 14,5                | 40,0 (26/07) | 3,4 (11/12)  | 9,1                                     |
| 2009      | 23,9                | 19,2                | 14,5                | 41,8 (23/07) | 0,8 (10/01)  | 9,4                                     |
| 2010      | 23,2                | 18,9                | 14,7                | 39,8 (23/08) | 2,0 (09/01)  | 8,5                                     |
| 2011      | 23,7                | 19,3                | 14,9                | 39,4 (05/08) | 3,2 (02/03)  | 8,8                                     |
| 2012      | 23,6                | 19,0                | 14,4                | 41,4 (12/08) | 0 (09/02)    | 9,2                                     |
| 2013      | 23,7                | 19,1                | 14,4                | 37,6 (06/08) | 2,8 (26/02)  | 9,3                                     |
| 2014      | 24,7                | 19,9                | 15,1                | 40,0 (10/08) | 1,5 (29/12)  | 9,6                                     |
| 2015      | 24,5                | 19,8                | 15,1                | 41,2(24/07)  | 1,2(06/02)   | 9,4                                     |
| 1991-2015 | 23,5                | 18,8                | 14,1                | 39,8         | 1,6          | 9,38                                    |

**Tabla 4.1.** Comportamiento de las temperaturas medias anuales y absolutas en la estación Málaga-Aeropuerto durante el periodo estudiado (1991-2015).

El comportamiento de las temperaturas (medias, máximas, mínimas) durante los años estudiados en Málaga se puede apreciar en la figura 4.1. El estudio de las tendencias mediante el análisis de regresión aplicado a las tres variables muestra un incremento estadísticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ) tanto en el caso de la temperatura media como en el de la mínima y máxima. Así, se observa que el aumento de las temperaturas mínimas es mayor que el de temperaturas máximas y que la diferencia entre las ambas temperaturas se hace cada vez menor a lo largo de los años estudiados, con un descenso estadísticamente significativo.



**Figura 4.1.** Tendencias de las medias anuales de las temperaturas medias, máximas y mínimas, así como el de la diferencia entre las máximas y las mínimas en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

La evolución de los promedios mensuales de la temperatura media diaria (Tabla 4.2) durante los años estudiados muestra que es en el mes de enero cuando se registran las temperaturas más bajas (12,4 °C). A partir de los meses de marzo y abril se inicia un incremento hasta llegar a los valores máximos en los meses estivales, julio (25,9 °C) y agosto (26,6 °C), considerado este último como el mes más cálido. Posteriormente las temperaturas presentan un descenso paulatino hasta el mes de diciembre.

|       | Ene  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep   | Oct  | Nov  | Dic  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 1991  | 11,6 | 11,2 | 14,5 | 14,6 | 17,7 | 22,6 | 25,4 | 25,7 | 24,2  | 17,4 | 14,3 | 13,2 |
| 1992  | 11,2 | 11,8 | 13,8 | 16,6 | 19,8 | 21,3 | 24,5 | 26,5 | 22,3  | 17,7 | 15,5 | 13,4 |
| 1993  | 10,8 | 11,9 | 13,6 | 15,3 | 18,1 | 22,5 | 24,3 | 25,9 | 23,4  | 17,2 | 14,8 | 12,6 |
| 1994  | 11,8 | 12,5 | 14,6 | 15,9 | 19,5 | 22,6 | 26,2 | 26,7 | 22,5  | 19,5 | 16,7 | 14,1 |
| 1995  | 13,4 | 15,2 | 15,1 | 16,3 | 20,4 | 22,7 | 26,1 | 26,8 | 22,2  | 20,2 | 17,4 | 14,4 |
| 1996  | 13,5 | 11,9 | 14,1 | 16,4 | 17,9 | 22,1 | 24,7 | 25,7 | 22,01 | 18,5 | 15,2 | 13,1 |
| 1997  | 12,2 | 14,5 | 15,1 | 17,4 | 20,1 | 23,5 | 24,1 | 25,1 | 23,3  | 21,3 | 16,3 | 13,7 |
| 1998  | 12,9 | 13,2 | 15,1 | 17,8 | 18,5 | 22,4 | 25,4 | 25,6 | 24,9  | 18,2 | 16,8 | 11,3 |
| 1999  | 11,8 | 12,7 | 14,1 | 16,9 | 20,8 | 23,1 | 25,5 | 26,4 | 23,6  | 20,1 | 14,2 | 13,7 |
| 2000  | 11,0 | 14,3 | 14,7 | 15,6 | 19,3 | 23,3 | 25,4 | 25,7 | 22,9  | 18,6 | 15,1 | 12,9 |
| 2001  | 12,9 | 13,4 | 16,6 | 18,2 | 19,5 | 24,8 | 25,7 | 27,2 | 24,2  | 20,6 | 14,6 | 13,0 |
| 2002  | 13,4 | 14,1 | 14,8 | 16,4 | 19,7 | 24,1 | 25,8 | 25,6 | 23,4  | 20,3 | 17,4 | 14,4 |
| 2003  | 12,3 | 12,6 | 15,1 | 16,9 | 19,7 | 25,2 | 26,8 | 27,2 | 24,1  | 19,6 | 15,8 | 12,9 |
| 2004  | 14,6 | 13,8 | 14,5 | 15,7 | 17,6 | 23,7 | 25,4 | 27,1 | 24,1  | 19,8 | 15,3 | 13,1 |
| 2005  | 11,1 | 10,8 | 14,1 | 17,8 | 20,8 | 24,3 | 27,1 | 25,7 | 23,4  | 19,9 | 14,8 | 13,1 |
| 2006  | 11,5 | 12,2 | 15,2 | 18,3 | 20,7 | 23,2 | 26,3 | 25,8 | 23,7  | 20,8 | 16,9 | 12,6 |
| 2007  | 11,8 | 14,7 | 14,8 | 15,9 | 20,6 | 23,9 | 25,8 | 26,7 | 23,5  | 20,1 | 15,5 | 13,5 |
| 2008  | 13,1 | 14,7 | 16,1 | 16,9 | 20,2 | 23,1 | 27,1 | 27,4 | 23,7  | 19,8 | 13,8 | 11,9 |
| 2009  | 11,5 | 12,7 | 14,1 | 16,5 | 20,3 | 24,4 | 27,2 | 26,4 | 23,7  | 21,3 | 17,4 | 14,3 |
| 2010  | 12,5 | 13,6 | 14,3 | 17,5 | 19,5 | 23,2 | 26,6 | 27,5 | 24,2  | 19,5 | 15,4 | 13,4 |
| 2011  | 13,0 | 13,2 | 14,8 | 18,6 | 20,2 | 23,3 | 26,7 | 27,7 | 24,5  | 20,6 | 15,7 | 13,6 |
| 2012  | 12,6 | 11,1 | 14,2 | 17,3 | 19,9 | 25,4 | 26,4 | 27,8 | 23,7  | 19,2 | 15,7 | 13,6 |
| 2013  | 14,2 | 12,7 | 15,1 | 17,1 | 19,6 | 22,1 | 25,4 | 26,5 | 24,3  | 21,8 | 16,2 | 13,4 |
| 2014  | 13,8 | 13,9 | 15,2 | 18,8 | 20,7 | 24,7 | 26,1 | 27,5 | 25,9  | 21,7 | 16,7 | 12,8 |
| 2015  | 12,3 | 12,8 | 15,5 | 17,7 | 21,4 | 23,6 | 28,3 | 28,1 | 24,4  | 20,7 | 17,1 | 14,9 |
| Max   | 14,6 | 15,2 | 16,6 | 18,9 | 21,4 | 25,5 | 28,3 | 28,1 | 26,0  | 21,8 | 17,4 | 14,9 |
| Min   | 10,8 | 10,9 | 13,6 | 14,6 | 17,7 | 21,3 | 24,0 | 25,1 | 22,1  | 17,2 | 13,8 | 11,2 |
| Media | 12,4 | 13,0 | 14,8 | 16,9 | 19,7 | 23,4 | 25,9 | 26,6 | 23,7  | 19,8 | 15,8 | 13,3 |

Tabla 4.2. Temperaturas medias mensuales en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

Los resultados del análisis estadístico del comportamiento mensual de las temperaturas medias mensuales mediante la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* (Tabla 4.3) indican que no existe una tendencia estadísticamente significativa de aumento de las temperaturas medias durante los meses de enero, febrero y marzo, mientras se han obtenido resultados positivos y significativos ( $p \leq 0,05$ ) de dicha temperatura en los meses de abril hasta octubre con valores positivos de pendiente de *Sen*. Estos valores han oscilado de +0,118 en el mes de octubre y +0,070 en el mes de agosto. Por otra parte, no se ha obtenido ninguna tendencia significativa explicando el comportamiento de los promedios de las temperaturas medias durante los meses de noviembre y diciembre a lo largo del periodo estudiado.

| Meses      | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------|-------------------|-------|------------------|
|            | Z                 | Sig.  | Q                |
| Enero      | 0,246             | 0,092 | 0,052            |
| Febrero    | 0,128             | 0,387 | 0,032            |
| Marzo      | 0,273             | 0,066 | 0,027            |
| Abril      | 0,438             | 0,003 | 0,086            |
| Mayo       | 0,334             | 0,022 | 0,076            |
| Junio      | 0,387             | 0,008 | 0,079            |
| Julio      | 0,474             | 0,001 | 0,100            |
| Agosto     | 0,463             | 0,002 | 0,070            |
| Septiembre | 0,467             | 0,001 | 0,075            |
| Octubre    | 0,440             | 0,002 | 0,118            |
| Noviembre  | 0,192             | 0,190 | 0,045            |
| Diciembre  | 0,051             | 0,743 | 0,009            |

**Tabla 4.3.** Análisis de la tendencia de los promedios de las temperaturas medias mensuales en Málaga usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen* durante el periodo estudiado (1991-2015).

#### 4.1.2. Precipitación

La precipitación anual media para el periodo de estudio fue de 521,7 mm, siendo el año 2010 el más lluvioso con 1207 mm mientras el año 1999 ha sido el más seco con 287,2 mm. La tabla 4.4 muestra las precipitaciones anuales registradas y el número de días de lluvia durante los años estudiados. Asimismo, se observa que las cantidades de lluvias variaron de un año a otro, al igual que el número de días con lluvia, habiéndose un promedio de 58 días y variando entre un mínimo de 41 días (año 1994) y un máximo de 83 días (años 1996, 1997 y 2010). Por otra parte, se puede observar que no existe una relación directa entre los registros de pluviometría y el número de días de lluvia.

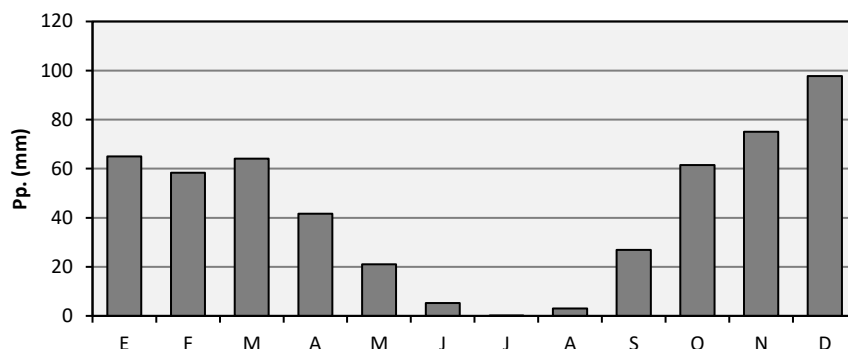
En la figura 4.2 se muestra la distribución de las precipitaciones mensuales en Málaga durante el periodo de estudio. Así, se puede observar que los meses más lluviosos han sido diciembre (97,7 mm), noviembre (75,0 mm), enero (65,0 mm), marzo (64,0 mm) y febrero (58,4 mm), en orden de abundancia. Por otra parte, los menos lluviosos fueron junio y agosto con cantidades promedios de 5,2 mm y 3,1 mm, respectivamente, y casi una ausencia total de precipitación durante el mes de julio, registrando un valor promedio de 0,1 mm.

La figura 4.3 muestra el resumen de la distribución de las temperaturas y las precipitaciones durante los años estudiados. Así, la evolución de los valores medios diarios de la temperatura media y de las precipitaciones se caracteriza por un incremento de las temperaturas en los meses de primavera, fundamentalmente a principios de abril, siendo junio, julio y agosto los meses más calidos, unido a un descenso de las precipitaciones, de forma que los registros son prácticamente nulos en esos meses, lo cual se indica que existe un periodo de xericidad estival en la ciudad de Málaga empezando desde junio hasta septiembre, un fenómeno típico de las regiones de clima mediterráneo.

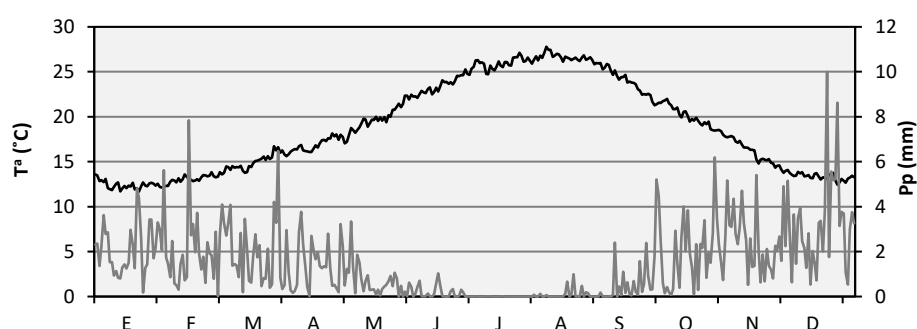
|       | Total anual<br>(mm) | N° días con lluvias<br>(>0,1mm) |
|-------|---------------------|---------------------------------|
| 1991  | 470,2               | 66                              |
| 1992  | 328,9               | 46                              |
| 1993  | 431,5               | 65                              |
| 1994  | 299,9               | 41                              |
| 1995  | 373,4               | 44                              |
| 1996  | 1155,9              | 83                              |
| 1997  | 894,2               | 83                              |
| 1998  | 440,5               | 52                              |
| 1999  | 287,2               | 50                              |
| 2000  | 455,4               | 60                              |
| 2001  | 422,6               | 58                              |
| 2002  | 514,0               | 62                              |
| 2003  | 746,5               | 73                              |
| 2004  | 683,9               | 54                              |
| 2005  | 296,2               | 45                              |
| 2006  | 556,8               | 65                              |
| 2007  | 392,7               | 60                              |
| 2008  | 437,9               | 65                              |
| 2009  | 596,8               | 55                              |
| 2010  | 1207,0              | 83                              |
| 2011  | 454,2               | 54                              |
| 2012  | 495,6               | 46                              |
| 2013  | 354,7               | 60                              |
| 2014  | 373,1               | 48                              |
| 2015  | 322,3               | 46                              |
| Max   | 1207,0              | 83                              |
| Min   | 287,2               | 41                              |
| Media | 521,7               | 58                              |

**Tabla 4.4.** Comportamiento de los totales anuales de lluvias y los números de días con precipitación registradas en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).





**Figura 4.2.** Distribución de los valores mensuales de las precipitaciones en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).



**Figura 4.3.** Distribución de los promedios medios diarios de las temperaturas y de las precipitaciones en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

El estudio del comportamiento del ritmo de las lluvias registradas en Málaga mediante el análisis de la regresión (Fig. 4.4) indica que prácticamente no hay tendencia, con coeficiente no significativo ( $R^2=0,0001$ ;  $p=0,961$ ), para las cantidades de lluvias durante el periodo 1991-2015. Dicho comportamiento se ha observado también en el número de días con precipitación no detectándose ninguna tendencia significativa ( $R^2=0,0042$ ;  $p=0,763$ ).

Por otra parte, los resultados de *Mann-Kendall* analizando la dinámica de las precipitaciones a lo largo del periodo 1991-2015 (Tabla 4.5), indican que hay una disminución de los totales registrados de las precipitaciones durante enero, febrero, mayo, junio y diciembre. Sin embargo, en los meses de marzo, abril, septiembre, octubre y noviembre, los registros fueron de signo positivo indicando una tendencia al aumento, si bien no se observó ninguna tendencia significativa durante los diferentes meses analizados. Por último, cabe destacar, que las pendientes de *Sen* fueron nulas ( $Q=0$ ) durante los meses de julio y agosto por lo que no se puede determinar ninguna tendencia del regimen de las precipitaciones durante esos meses.

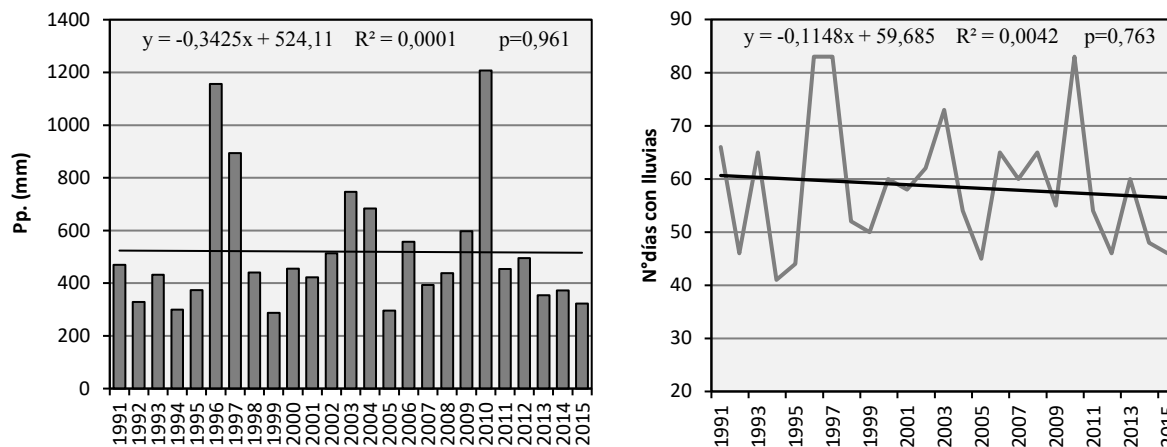


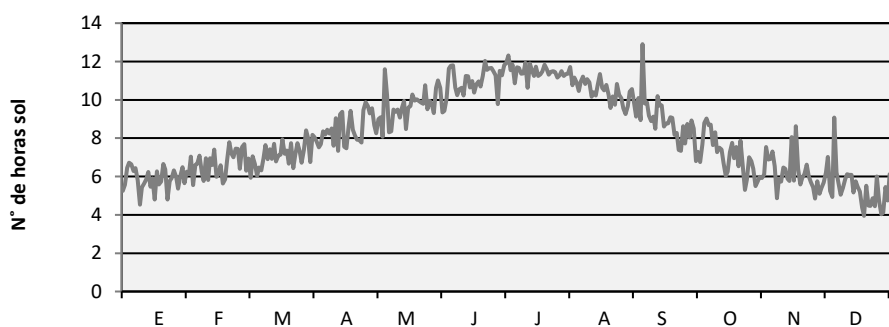
Figura 4.4. Tendencias de los totales anuales de las precipitaciones y del número de días de lluvias en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

| Meses      | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------|-------------------|-------|------------------|
|            | Z                 | Sig.  | Q                |
| Enero      | -0,047            | 0,764 | -0,21            |
| Febrero    | -0,013            | 0,945 | -0,14            |
| Marzo      | 0,167             | 0,256 | 1,27             |
| Abril      | 0,100             | 0,503 | 0,70             |
| Mayo       | -0,057            | 0,709 | -0,17            |
| Junio      | -0,219            | 0,155 | -0,01            |
| Julio      | -0,231            | 0,168 | 0                |
| Agosto     | 0,120             | 0,448 | 0                |
| Septiembre | 0,147             | 0,000 | 0,48             |
| Octubre    | 0,007             | 0,982 | 0,13             |
| Noviembre  | 0,100             | 0,503 | 1,25             |
| Diciembre  | -0,120            | 0,418 | -1,17            |

Tabla 4.5. Análisis de la tendencia de los totales de las precipitaciones mensuales en Málaga usando el test de Mann-Kendall y la pendiente de Sen durante la serie estudiada (1991-2015).

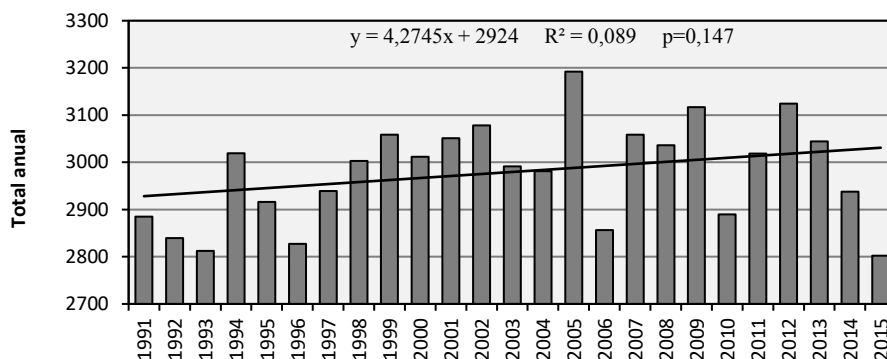
#### 4.1.3. Insolación

La dinámica diaria de las horas de sol en Málaga durante los años 1991-2015 (Fig. 4.5), presenta una tendencia ascendente desde el mes de enero hasta los meses de junio y julio, con picos máximos situados en mayo y agosto y una curva descendente de septiembre hasta diciembre, lo que explica el contraste entre el verano y en el invierno.



**Figura 4.5.** Evolución diaria del número de horas de sol en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

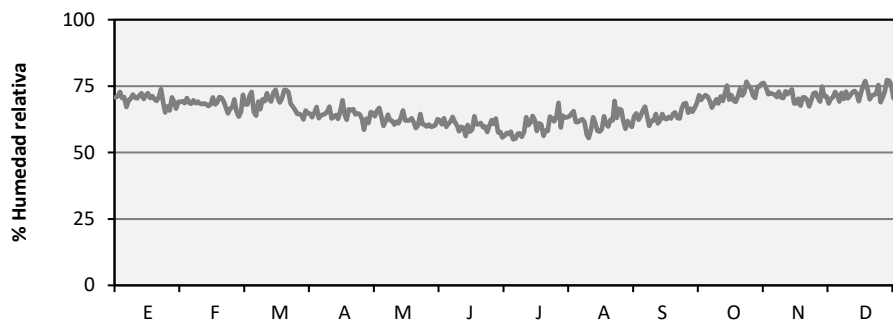
Los valores medios anuales (1991-2015) muestra que el número anual de las horas de sol en Málaga es elevado, con un valor medio de 2.978 horas de sol. El análisis del comportamiento de dicho parámetro a lo largo de los 25 años indica que el año de máxima insolación fue el año 2005 con 3.192 horas, mientras que el mínimo correspondió en el año 2015 con 2.802 (Fig. 4.6). El análisis de regresión realizado para este parámetro a lo largo de los 25 años de estudio, presenta un coeficiente de regresión ( $R^2=0,089$ ) y muestra una tendencia positiva. Cabe mencionar que es difícil de establecer un patrón en la tendencia interanual de este parámetro, puesto que no sólo depende de la duración teórica del día sino que además esta influenciada por la nubosidad.



**Figura 4.6.** Evolución del total anual de las horas de sol en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

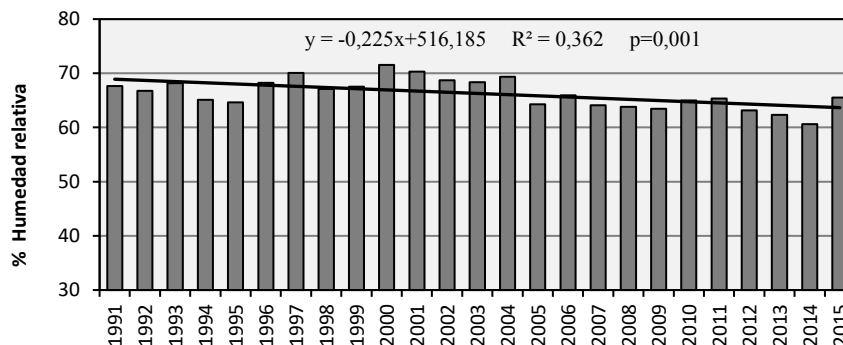
#### 4.1.4. Humedad relativa

Durante el periodo de estudio la humedad relativa tuvo un promedio de 66% en la atmósfera de Málaga con escasa diferencia de un año a otro. Dado que este parámetro está directamente relacionado con las precipitaciones e indirectamente con las temperaturas se observa que los valores más altos se registran en los meses de otoño e invierno, mientras los más bajos durante el verano (Fig. 4.7).



**Figura 4.7.** Evolución del promedio diario de la humedad relativa media en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

El análisis de la regresión indica un descenso significativo en los niveles anuales medios de la humedad relativa a lo largo de los 25 años de estudio (Fig. 4.8), que han oscilado entre un mínimo de 61% en 2014 y un máximo de 72% en 2000.



**Figura 4.8.** Evolución del promedio anual de la humedad relativa media en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

#### 4.1.5. Velocidad y dirección del viento

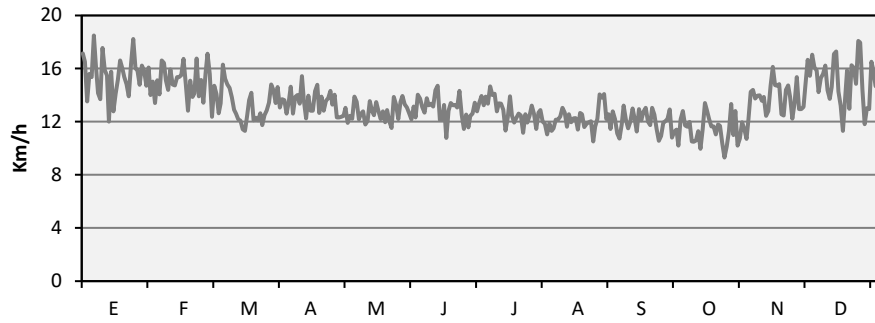
El promedio de la velocidad media del viento durante todo el periodo analizado (1991-2015) ha sido igual a 13,4 km/h (Tabla 4.6). El valor medio anual más bajo se registró en 1996 con 10,3 km/h, como promedio, mientras que el más alto tuvo en 2002 con 15,6 km/h. El mes con mayor velocidad media de viento fue enero con 15,5 km/h pero también se registraron valores altos en febrero (15,0 km/h), noviembre (14,2 km/h) y diciembre (14,9 km/h). Por otra parte, los valores más bajos de la velocidad media del viento se obtuvieron en octubre y en septiembre, con 11,4 km/h y 11,9 km/h, respectivamente.

En la figura 4.9, se puede observar que el comportamiento de la velocidad media del viento a lo largo del periodo de estudio, mostrando números altibajos, sucediéndose días de vientos fuertes con otros de menor intensidad, siendo los meses de invierno (enero-febrero) y otoño (noviembre-diciembre) cuando aumenta de forma considerable dicho parámetro.

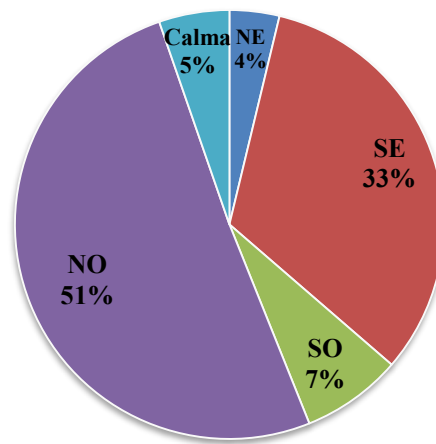
En relación con la dirección del viento en Málaga, se observa que los vientos predominantes son los componentes noroeste (cuarto cuadrante) y sureste (segundo cuadrante) (Fig. 4.10). Por otra parte, se observa que durante el otoño e invierno existe un predominio de los vientos del cuarto cuadrante sobre los del segundo, mientras que, en primavera es el viento del segundo cuadrante el que predomina sobre el del cuarto (Fig. 4.11).

|       | Ene  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  | Año  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1991  | 12,8 | 12,9 | 12,2 | 12,3 | 12,4 | 11,3 | 12,4 | 10,4 | 10,4 | 9,3  | 13,5 | 10,0 | 11,7 |
| 1992  | 12,0 | 10,4 | 10,6 | 10,8 | 10,6 | 13,3 | 8,7  | 11,5 | 7,7  | 11,9 | 13,8 | 11,4 | 11,1 |
| 1993  | 10,3 | 9,4  | 8,9  | 11,2 | 10,1 | 10,6 | 8,7  | 8,1  | 14,4 | 8,8  | 9,4  | 15,3 | 10,4 |
| 1994  | 17,1 | 14,2 | 6,5  | 12,4 | 10,1 | 11,9 | 10,4 | 10,8 | 12,8 | 8,8  | 11,0 | 16,5 | 11,9 |
| 1995  | 18,1 | 15,5 | 12,9 | 10,6 | 11,0 | 11,1 | 10,4 | 9,6  | 10,2 | 6,7  | 10,4 | 9,8  | 11,4 |
| 1996  | 9,6  | 14,8 | 9,8  | 9,7  | 8,8  | 8,4  | 9,4  | 11,3 | 10,4 | 9,6  | 13,0 | 8,3  | 10,3 |
| 1997  | 9,2  | 11,6 | 8,0  | 8,6  | 10,8 | 12,3 | 9,7  | 9,6  | 7,7  | 10,7 | 10,3 | 16,2 | 10,4 |
| 1998  | 16,1 | 9,5  | 11,3 | 14,7 | 10,4 | 10,2 | 11,4 | 8,8  | 11,8 | 11,2 | 14,4 | 13,8 | 12,0 |
| 1999  | 15,8 | 15,6 | 11,6 | 12,2 | 15,1 | 14,3 | 14,0 | 15,1 | 14,6 | 12,1 | 18,0 | 19,8 | 14,8 |
| 2000  | 15,0 | 17,4 | 14,9 | 16,2 | 13,6 | 14,3 | 14,4 | 13,8 | 12,7 | 14,3 | 15,2 | 13,5 | 14,6 |
| 2001  | 16,2 | 15,9 | 14,6 | 17,0 | 13,8 | 15,6 | 15,6 | 14,2 | 12,6 | 12,6 | 16,7 | 18,2 | 15,2 |
| 2002  | 18,1 | 18,1 | 13,7 | 14,2 | 16,9 | 15,7 | 14,1 | 13,7 | 12,7 | 14,5 | 18,7 | 17,2 | 15,6 |
| 2003  | 20,2 | 17,6 | 15,5 | 13,9 | 13,8 | 14,7 | 15,4 | 13,9 | 13,2 | 12,7 | 16,3 | 16,8 | 15,3 |
| 2004  | 21,7 | 14,6 | 14,7 | 15,3 | 13,5 | 13,3 | 13,6 | 14,9 | 12,9 | 14,1 | 13,6 | 20,0 | 15,2 |
| 2005  | 17,1 | 16,5 | 14,2 | 17,6 | 14,7 | 13,9 | 16,1 | 12,9 | 14,3 | 12,4 | 15,7 | 17,9 | 15,3 |
| 2006  | 18,1 | 14,7 | 17,4 | 14,2 | 15,2 | 13,9 | 13,7 | 13,2 | 13,9 | 11,5 | 13,7 | 16,9 | 14,7 |
| 2007  | 16,1 | 16,0 | 18,5 | 12,6 | 15,8 | 15,8 | 13,6 | 12,5 | 11,1 | 13,3 | 13,2 | 14,6 | 14,4 |
| 2008  | 14,7 | 17,0 | 18,7 | 14,4 | 14,9 | 13,5 | 14,9 | 14,2 | 12,8 | 14,3 | 15,9 | 17,9 | 15,3 |
| 2009  | 17,2 | 14,4 | 15,8 | 16,0 | 14,1 | 13,8 | 14,8 | 12,5 | 12,1 | 12,6 | 18,7 | 17,3 | 14,9 |
| 2010  | 16,6 | 14,9 | 14,3 | 15,0 | 14,8 | 13,2 | 12,7 | 12,6 | 13,1 | 14,4 | 16,7 | 13,1 | 14,3 |
| 2011  | 14,7 | 16,9 | 15,9 | 12,0 | 11,7 | 13,1 | 14,2 | 14,0 | 12,5 | 11,4 | 11,8 | 16,7 | 13,7 |
| 2012  | 14,1 | 16,5 | 13,2 | 15,3 | 11,5 | 13,7 | 13,6 | 12,6 | 10,7 | 9,4  | 12,4 | 13,5 | 13,0 |
| 2013  | 18,2 | 16,5 | 11,4 | 12,1 | 12,0 | 12,2 | 11,4 | 11,0 | 10,4 | 10,4 | 18,0 | 14,6 | 13,2 |
| 2014  | 14,1 | 16,8 | 13,2 | 15,3 | 11,4 | 13,6 | 13,6 | 12,6 | 10,7 | 9,4  | 12,4 | 13,5 | 13,1 |
| 2015  | 14,5 | 17,5 | 14,9 | 12,0 | 11,6 | 11,2 | 11,6 | 12,4 | 11,8 | 9,2  | 12,4 | 9,4  | 12,4 |
| Max   | 21,7 | 18,1 | 18,8 | 17,6 | 16,9 | 15,8 | 16,1 | 15,1 | 14,6 | 14,5 | 18,7 | 20,0 | 15,6 |
| Min   | 9,2  | 9,4  | 6,5  | 8,6  | 8,8  | 8,3  | 8,7  | 8,1  | 7,7  | 6,7  | 9,4  | 8,3  | 10,3 |
| Media | 15,5 | 15,0 | 13,3 | 13,4 | 12,7 | 13,0 | 12,7 | 12,2 | 11,9 | 11,4 | 14,2 | 14,9 | 13,4 |

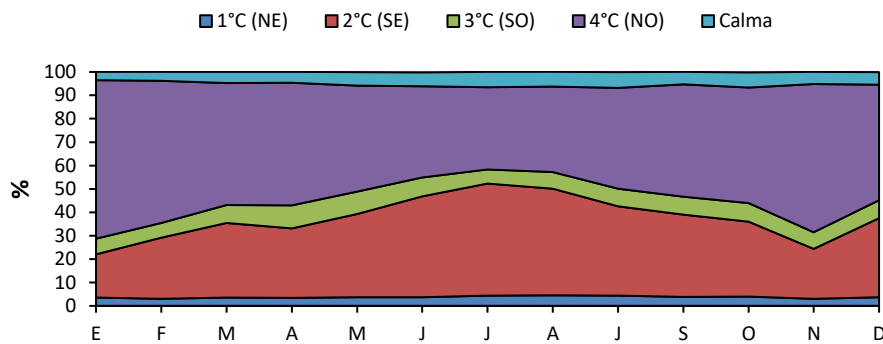
Tabla 4.6. Media mensual y anual de la velocidad media del viento en km/h, en Málaga (1991-2015).



**Figura 4.9.** Promedio de la evolución diaria de la velocidad media del viento en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

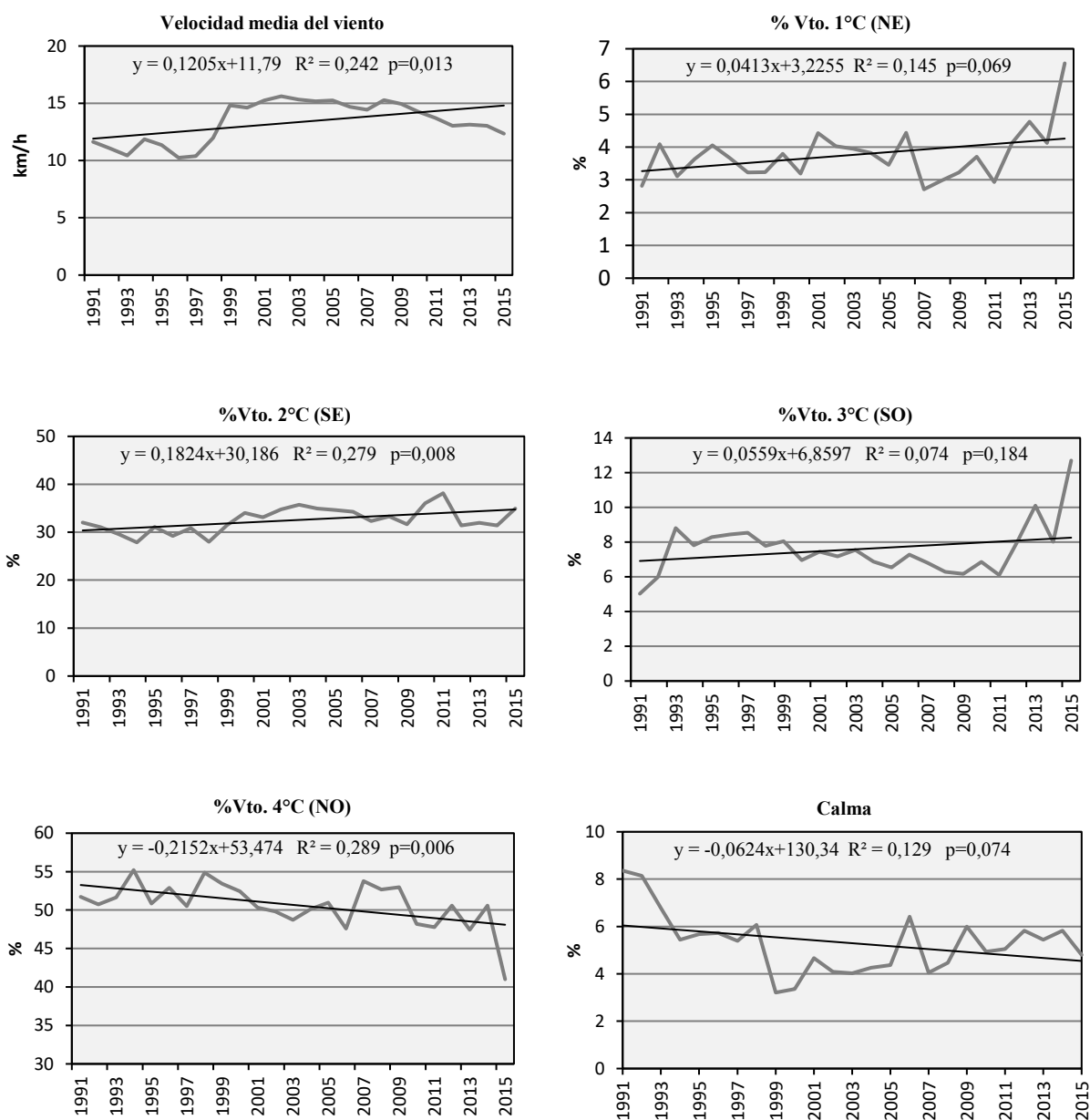


**Figura 4.10.** Distribución de los porcentajes del viento por cuadrantes y las calmas en Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).



**Figura 4.11.** Evolución del porcentaje mensual de la dirección del viento (cuadrantes) y la calma en Málaga (1991-2015).

La dinámica del viento se ha analizado a lo largo de 25 años en Málaga mediante regresión simple y los resultados se muestra en la figura 4.12. Así, se puede observar una tendencia positiva y con coeficiente de regresión significativo tanto en el caso de la velocidad media del viento ( $R^2=0,242$ ;  $p=0,013$ ), como del % del viento del segundo cuadrante (SE) ( $R^2=0,279$ ;  $p=0,008$ ), mientras se ha obtenido una tendencia negativa y con coeficiente de regresión significativo en el caso del cuarto cuadrante (NO). Por otra parte, se ha observado una tendencia positiva pero no significativa tanto en el caso del viento del primer (NE) y tercer cuadrante (SO) mientras que la tendencia fue negativa, pero no significativa, en el caso de las calmas.



**Figura 4.12.** Análisis de las tendencias de los parámetros: Velocidad media viento, los porcentajes por cuadrantes (1°C, 2°C, 3°C, 4°C) y la calma, en Málaga (1991-2015).

### 4.1.6. Discusión

Durante el periodo estudiado (1991-2015), se ha observado un aumento significativo de las temperaturas medias anuales, registrándose un promedio de 18,8 °C. De igual manera, se ha observado un incremento significativo de las temperaturas máximas de 0,04 °C por año mientras que para las temperaturas mínimas han sido de 0,06 °C por año en la ciudad de Málaga. Esto coincide con el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC (2014) que explica que el promedio mundial de las temperaturas medias ha registrado un aumento de más de 0,7 °C en los últimos 100 años y además estima un aumento hasta 2 °C a finales del siglo XXI.

En cuanto a las variaciones mensuales de las temperaturas medias, los meses que van desde abril hasta octubre mostraron un patrón ascendente estadísticamente significativo lo que traduce en un escenario de cambio climático en nuestra área de estudio. Este incremento se ha apreciado relativamente más importante en el mes de octubre con un aumento de +0,11 °C/año. De hecho, nos encontramos con periodos de primavera, verano y otoño más cálidos.

En trabajos llevados a cabo sobre el análisis de las tendencias de temperaturas en España, se observó un aumento de 1,5 °C en los últimos 100 años y algunos autores estiman que las temperaturas aumentarán constantemente, a un ritmo de más de 0,4 °C por década en invierno y de 0,7 °C en verano (Cariñanos *et al.*, 2004; Galán & Domínguez-Viches, 2012).

Las precipitaciones presentaron un valor de 521,7 mm como media durante los años analizados, teniendo lugar casi en su totalidad durante los meses de diciembre a marzo, si bien se aprecian variaciones en los totales anuales de este parámetro de un año a otro, comportamiento típico del clima mediterráneo. Así, se observó una muy ligera tendencia a la disminución de las lluvias registradas en nuestra área de estudio, lo que coincide también con un ligero descenso en el número de días de lluvias durante los años 1991-2015 (Fig. 4.4). Este hecho se ha puesto de manifiesto con el análisis de tendencia, así como con la prueba de *Mann-Kendall*, observándose una bajada de los totales de lluvias durante los meses invernales (enero y febrero), primaverales (mayo y junio), de verano (julio) y por último de otoño (diciembre) (Tabla 4.5). Según Kelly *et al.* (2012), el área mediterránea recibe casi todas sus precipitaciones durante el invierno y el periodo de ausencia de lluvias puede ir de 4 a 6 meses durante el verano sin que haya precipitación significativa. Además, afirma que en España se ha producido una reducción del 11% del total de precipitación respecto al promedio, debido a la existencia de un cambio sustancial en la distribución de las lluvias en la región mediterránea ya que la reducción se asocia con menos días lluviosos.

El número de horas de sol mostró una tendencia al aumento en Málaga, alcanzando un valor medio de 2.978 horas durante el periodo estudiado (Fig. 4.6), aunque se observaron variaciones interanuales que pueden tener un efecto directo sobre la floración de la mayoría de los taxones, a analizar en los capítulos siguientes, puesto que este parámetro no depende solamente de la duración teórica del día sino también de la nubosidad.

La humedad relativa mostró una tendencia de descenso significativo a lo largo de los 25 años de estudio. Este hecho puede ser explicado debido a que este parámetro está directamente relacionado con las precipitaciones que muestran un escasez en las cantidades registradas en Málaga e indirectamente con las temperaturas y las horas de sol, con patrones ascendentes en nuestra localidad, como se ha indicado anteriormente.



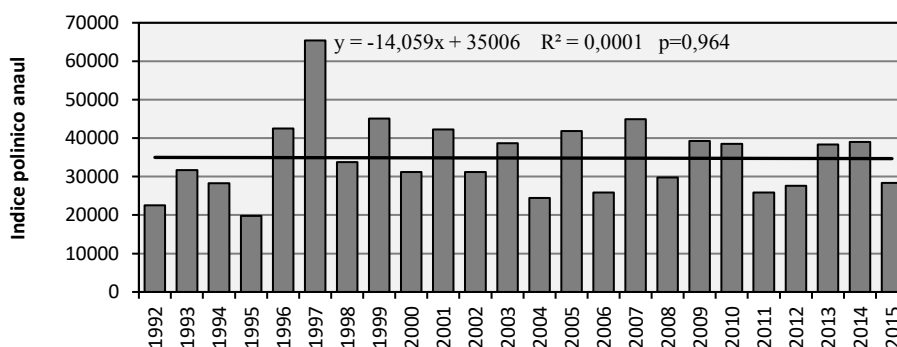
El viento predominante en Málaga tiene unas componentes principales claras, correspondientes al 2° (SE) y al 4° (NO) cuadrante, tal como puso de manifiesto Recio (1995) en un trabajo anterior llevado a cabo en esta misma localidad. Se han observado diferentes tendencias en cuanto a las distintas frecuencias de viento ya que se registró una tendencia significativa a incrementarse ligeramente el viento del segundo cuadrante (procedente del mar), mientras que se observa un descanso del viento del cuarto cuadrante (originario de zonas interiores). Este hecho ha sido puesto de manifiesto por los meteorólogos que han estudiado los vientos y las circulaciones a meso-escala sobre el mar de Alborán (Mediterráneo occidental), quienes observaron la aparición de "entradas abruptas" de los vientos de levante (del segundo cuadrante) a lo largo de la costa norte de este mar en los últimos años (Sánchez-Laulhé & Polvorinos, 1997).

En lo que se refiere a las demás direcciones, se observó un aumento del viento del primer y tercer cuadrante, lo que sugiere una mayor influencia de éstos en el contenido polínico de la atmósfera, transportando polen originario de la vegetación dominante situada dentro de esos cuadrantes.

En cuanto a la velocidad media del viento, apareció una tendencia significativa al incremento de la misma en la atmósfera de Málaga, junto con una disminución de las Calmas, lo que coincide con lo reportado para otras localidades como Madrid, Barcelona, Valencia, Vigo, Bilbao, Badajoz, Sevilla, Córdoba, Granada, Almería, Murcia, Alicante (Recio *et al.*, 2010). Así, se puede ver que el número decreciente de los periodos de calmas ha sido remplazado por el viento.

#### 4.2. ANÁLISIS DEL ESPECTRO POLÍNICO TOTAL

El índice polínico anual medio ha sido de 34.833 durante el periodo 1992-2015, fluctuando entre un mínimo de 19.759 (año 1995) y un máximo de 65.363 (año 1997). Analizando la dinámica interanual del total polínico, se observa que los registros fueron muy heterogéneos (Fig. 4.13), mostrando una alternancia bianual. Por otra parte, los resultados de la prueba de *Mann-Kendall* (Tabla 4.7), así como el análisis de regresión, indican que apenas existe tendencia a lo largo de los años. El valor de la pendiente de *Sen* fue igual a -23,86.



**Figura 4.13.** Dinámica del polen total registrado en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Serie       | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de <i>Sen</i> |
|-------------|--------|-------|----|-------------------|-------|-------------------------|
|             |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                       |
| Polen total | 1992   | 2015  | 24 | -0,022            | 0,903 | -23,86                  |

**Tabla 4.7.** Análisis de la dinámica del espectro polínico total en la atmósfera de Málaga usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen* durante el periodo estudiado (1992-2015).

En la evolución mensual (Tabla 4.8), observamos un incremento de los niveles polínicos a partir del mes de febrero, con un índice mensual promedio de 3.048, hasta el mes de junio, con un valor promedio de 3.091. Durante el mes de mayo se obtiene el índice polínico mensual medio más alto, con un valor 11.963, pero también en abril y marzo se registran valores elevados, con valores promedios mensuales de 8.436 y 4.616, respectivamente. Los índices polínicos de mayo han oscilado entre un mínimo de 5.380 (2011) y un máximo de 20.975 (año 2007). Cabe mencionar que, en los años 1997 y 2001, abril fue el mes en el que se registraron los índices mensuales más elevados con valores de 21.577 y 18.784, respectivamente.

|       | Ene   | Feb    | Mar    | Apr    | May    | Jun   | Jul   | Ago  | Sep   | Oct   | Nov   | Dic  |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 1992  | 399   | 4.309  | 2434   | 4.620  | 6.233  | 1.420 | 792   | 507  | 472   | 490   | 393   | 483  |
| 1993  | 293   | 2.667  | 2.667  | 5.569  | 10.195 | 6.219 | 1.053 | 467  | 426   | 880   | 348   | 384  |
| 1994  | 1.697 | 2.351  | 3.014  | 6.731  | 9.010  | 2.562 | 507   | 220  | 345   | 866   | 545   | 401  |
| 1995  | 319   | 1.460  | 2.569  | 5.946  | 5.443  | 1.354 | 776   | 278  | 161   | 993   | 299   | 161  |
| 1996  | 406   | 2.049  | 11.310 | 6.432  | 9.343  | 4.716 | 1473  | 937  | 1021  | 3.031 | 1.444 | 317  |
| 1997  | 261   | 13.629 | 13.587 | 21.577 | 8.339  | 3.031 | 902   | 741  | 338   | 2.353 | 262   | 343  |
| 1998  | 568   | 2.932  | 5.941  | 9.300  | 6.867  | 4.061 | 1.006 | 469  | 424   | 1.298 | 745   | 194  |
| 1999  | 542   | 3.873  | 6.182  | 12.757 | 16.709 | 1.699 | 544   | 387  | 364   | 1.071 | 631   | 295  |
| 2000  | 454   | 7.927  | 3.890  | 5.527  | 8536   | 2.422 | 761   | 303  | 243   | 366   | 533   | 198  |
| 2001  | 693   | 4.015  | 5.789  | 18.784 | 7.025  | 3.671 | 696   | 92   | 153   | 570   | 458   | 300  |
| 2002  | 606   | 2.340  | 2.385  | 7.328  | 14.013 | 2.095 | 500   | 306  | 229   | 552   | 436   | 363  |
| 2003  | 596   | 1.101  | 4.269  | 5.923  | 20.876 | 2.945 | 1.014 | 270  | 186   | 642   | 495   | 384  |
| 2004  | 753   | 686    | 2.831  | 4.564  | 7.766  | 5.236 | 717   | 342  | 278   | 397   | 425   | 486  |
| 2005  | 416   | 2.648  | 4.772  | 11.590 | 18.949 | 1.863 | 418   | 209  | 221   | 327   | 165   | 235  |
| 2006  | 327   | 1.398  | 2.250  | 7.216  | 12.381 | 1.005 | 374   | 223  | 205   | 122   | 175   | 217  |
| 2007  | 277   | 3.379  | 4.271  | 7.600  | 20.975 | 5.501 | 1.090 | 324  | 283   | 550   | 293   | 380  |
| 2008  | 480   | 920    | 4.905  | 8.533  | 8.674  | 3.544 | 745   | 262  | 267   | 607   | 361   | 473  |
| 2009  | 738   | 2.948  | 3.058  | 11.352 | 15.359 | 2.735 | 1.038 | 344  | 260   | 582   | 616   | 230  |
| 2010  | 334   | 786    | 3.446  | 4.524  | 19.263 | 5.776 | 853   | 322  | 419   | 1.247 | 998   | 513  |
| 2011  | 569   | 5.419  | 3.700  | 5.985  | 5.380  | 2.141 | 764   | 237  | 292   | 184   | 699   | 496  |
| 2012  | 359   | 1.102  | 4.143  | 5.327  | 10.824 | 2.884 | 926   | 325  | 350   | 763   | 275   | 370  |
| 2013  | 476   | 1.452  | 3.332  | 4.840  | 19.611 | 4.451 | 977   | 394  | 347   | 1.180 | 927   | 361  |
| 2014  | 992   | 2.343  | 5.766  | 12.700 | 12.840 | 1.882 | 683   | 286  | 255   | 407   | 336   | 507  |
| 2015  | 579   | 1.414  | 3.774  | 7.735  | 12.490 | 972   | 305   | 155  | 129   | 267   | 250   | 250  |
| Max   | 1.697 | 13.629 | 13.587 | 21.577 | 20.975 | 6.219 | 1.473 | 937  | 1.021 | 3.031 | 1.444 | 513  |
| Min   | 261   | 686    | 2250   | 4.524  | 5380   | 972   | 305   | 92   | 129   | 122   | 165   | 161  |
| Media | 547   | 3.048  | 4.616  | 8.436  | 11.963 | 3.091 | 788   | 350  | 320   | 823   | 505   | 348  |
| %     | 1,57  | 8,74   | 13,25  | 24,21  | 34,34  | 8,87  | 2,62  | 1,00 | 0,91  | 2,36  | 1,45  | 0,99 |

**Tabla 4.8.** Índices polínicos mensuales registrados en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

El análisis estadístico de la tendencia de los registros polínicos mensuales durante los años estudiados mediante la prueba de *Mann-Kendall* (Tabla 4.9), muestra una tendencia al descenso, con valor negativo, pero no significativo durante los meses de febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. Dicho comportamiento no fue similar en enero, abril y diciembre, observándose una tendencia positiva, pero con valores no significativos. Sólo durante el mes de mayo se aprecia un incremento positivo y con valores significativos de los registros polínicos ( $Z=0,297$ ;  $p=0,044$ ) a lo largo de los 24 años, con un valor de pendiente de *Sen* igual a 264,22.

| Meses      | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------|-------------------|-------|------------------|
|            | Z                 | Sig.  | Q                |
| Enero      | 0,167             | 0,268 | 5,59             |
| Febrero    | -0,246            | 0,097 | -75,31           |
| Marzo      | -0,007            | 0,980 | -3,33            |
| Abril      | 0,022             | 0,903 | 13,67            |
| Mayo       | 0,297             | 0,044 | 264,22           |
| Junio      | -0,043            | 0,788 | -17,94           |
| Julio      | -0,130            | 0,390 | -5,16            |
| Agosto     | -0,239            | 0,108 | -7,61            |
| Septiembre | -0,210            | 0,160 | -5,39            |
| Octubre    | -0,254            | 0,088 | -22,97           |
| Noviembre  | -0,094            | 0,540 | -4,037           |
| Diciembre  | 0,145             | 0,338 | 3,43             |

**Tabla 4.9.** Análisis de tendencias de los índices polínicos mensuales en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

Con respecto a la distribución media diaria del periodo estudiado, observamos que dichas concentraciones comienzan a incrementarse a partir de principios de febrero hasta alcanzar el pico máximo primaveral que suele ocurrir en el mes de mayo, con un valor promedio de 571 granos de polen/m<sup>3</sup> (Fig. 4.14a), suceso que ocurre fundamentalmente en la segunda semana debido al aumento de los niveles de polen de *Olea*. Los niveles decaen en los meses de verano, y a partir del mes de octubre se aprecia un ligero ascenso de los niveles de polen total detectados en la atmósfera principalmente debido al polen de *Casuarina*, a principios del otoño, y de ciprés, *Parietaria* y *Artemisia* a finales del año. El momento en el que se alcanza la semana pico (Fig. 4.14b), muestra grandes fluctuaciones, habiéndose obtenido dicho pico semanal entre la semana 7 como la más temprana (año 2000) y la semana 22 como la más tardía (año 2004), observándose el valor promedio en la semana 18. El análisis de la regresión muestra una tendencia al retraso de la semana pico, ( $R^2=0,064$ ;  $p=0,233$ ).

Durante el periodo estudiado se contabilizaron de manera continuada 36 tipos polínicos en la atmósfera de ciudad de Málaga. En función de su contribución individual al espectro polínico total, se han separado en dos grupos, que han sido tratado de forma diferente, tomando como criterio si llegaron o no a alcanzar el 1% del polen total del periodo estudiado. Así, en el primer grupo se sitúan los 13 tipos polínicos principales que representaron en total un 93,29 % del espectro total a lo largo de los 24 años. Estos tipos polínicos fueron *Olea* (32,5%), Cupressaceae (16,34%), *Quercus* (14,28%), Poaceae (7,79%), Chenopodiaceae-Amaranthaceae (4,20%), *Plantago* (3,99%), *Parietaria* (3,76%), *Pinus* (3,40%), *Casuarina* (1,93%), *Rumex* (1,41%), Myrtaceae (1,32%) y *Platanus* (1,20%), en orden de abundancia. Para el tipo *Urtica membranacea*, se calculó el porcentaje de su presencia en la atmósfera durante los años 1995-2015, debido a la ausencia de datos durante los 3 primeros años de muestreos, obteniéndose un valor del 1,14% para dicho periodo. El segundo grupo, (“otros”), está constituido por los 23 tipos restantes que se han dividido, a su vez, en tipos polínicos secundarios, minoritarios y raros, como ya se indicara en el apartado “material y métodos”, y que, en conjunto, presentaron una contribución global al espectro polínico del 6,71% al durante el periodo estudiado (Fig. 4.15).

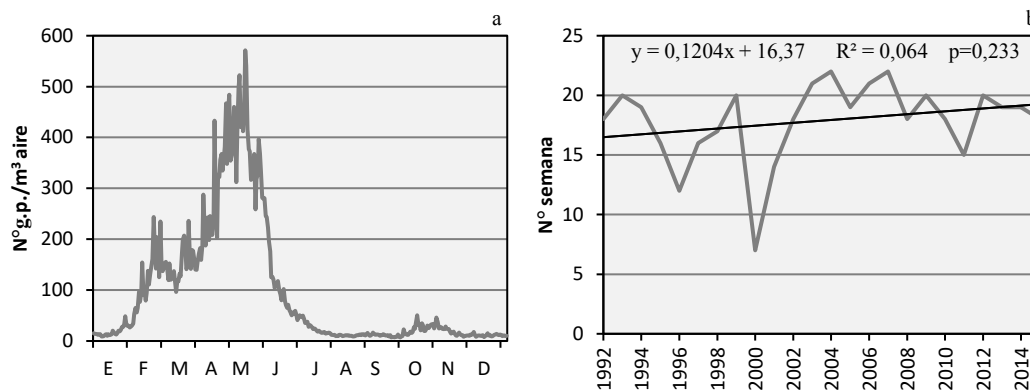


Figura 4.14. Evolución de los promedios de las concentraciones medias diarias (a) y semanas picos (b) durante el periodo estudiados (1992-2015).

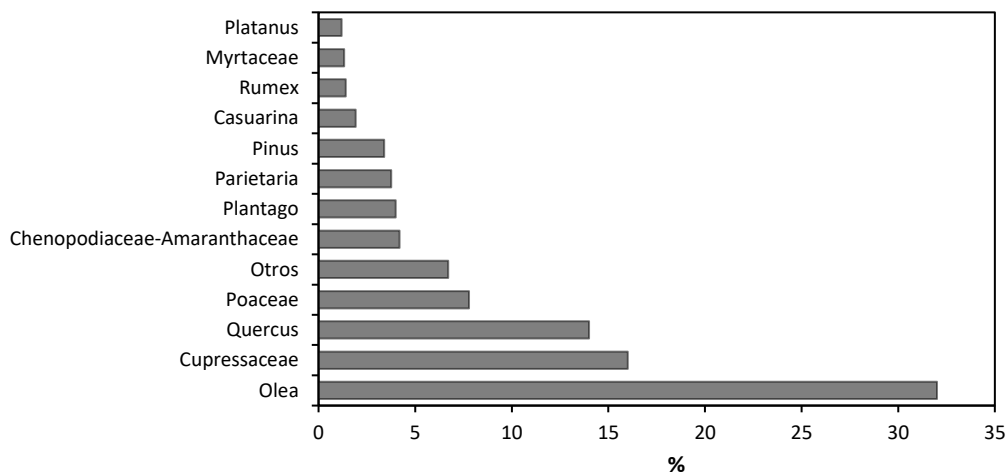


Figura 4.15. Porcentaje medios de los tipos polínicos principales en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

A continuación, en la tabla 4.10, se presentan los índices polínicos anuales obtenidos para cada tipo polínico y el porcentaje de la contribución al espectro polínico en el conjunto de los años estudiados (1992-2015), ordenados alfabéticamente. Cabe mencionar que para los tipos *Brassicaceae* y *Urtica membranacea* se presentan los datos del periodo (1995-2015). Forman parte de los tipos polínicos secundarios: *Artemisia* (0,50%), *Compositae* (0,52%), *Mercurialis* (0,83%), *Palmae* (0,89 %), minoritarios: *Umbelliferae* (0,29%), *Cannabis* (0,20%), *Castanea* (0,30%), *Brassicaceae* (0,31%), *Cyperaceae* (0,32%), *Echium* (0,41%), *Ericaceae* (0,24%), *Fraxinus* (0,22%), *Morus* (0,13%), *Parkinsonia* (0,20%), *Pistacia* (0,34%), *Populus* (0,35%), *Ricinus* (0,25%), *Typha* (0,14%), raros: *Alnus* (0,09%), *Betula* (0,06%), *Ligustrum* (0,05%), *Salix* (0,04%) y *Ulmus* (0,06%).

| Tipo polínico                       | Total   | %     |
|-------------------------------------|---------|-------|
| <i>Alnus</i>                        | 762     | 0,09  |
| <i>Artemisia</i>                    | 3.967   | 0,50  |
| <i>Betula</i>                       | 471     | 0,06  |
| <b>Brassicaceae*</b>                | 2.544   | 0,31  |
| <i>Cannabis</i>                     | 1.612   | 0,20  |
| <i>Castanea</i>                     | 2.427   | 0,30  |
| <i>Casuarina</i>                    | 15.663  | 1,93  |
| <b>Chenopodiaceae-Amaranthaceae</b> | 34.197  | 4,20  |
| <b>Compositae</b>                   | 4.221   | 0,52  |
| <b>Cupressaceae</b>                 | 13.296  | 16,34 |
| <b>Cyperaceae</b>                   | 2.580   | 0,32  |
| <i>Echium</i>                       | 3.364   | 0,41  |
| <b>Ericaceae</b>                    | 1.937   | 0,24  |
| <i>Fraxinus</i>                     | 1.776   | 0,22  |
| <i>Ligustrum</i>                    | 439     | 0,05  |
| <i>Mercurialis</i>                  | 6.758   | 0,83  |
| <i>Morus</i>                        | 1.071   | 0,13  |
| <b>Myrtaceae</b>                    | 10.731  | 1,32  |
| <i>Olea</i>                         | 264.651 | 32,53 |
| <b>Palmae</b>                       | 7.278   | 0,89  |
| <i>Parietaria</i>                   | 30.548  | 3,76  |
| <i>Parkinsonia</i>                  | 1.616   | 0,20  |
| <i>Pinus</i>                        | 27.626  | 3,40  |
| <i>Pistacia</i>                     | 2.778   | 0,34  |
| <i>Plantago</i>                     | 32.461  | 3,99  |
| <i>Platanus</i>                     | 9.742   | 1,20  |
| <b>Poaceae</b>                      | 63.335  | 7,79  |
| <i>Populus</i>                      | 2.826   | 0,35  |
| <i>Quercus</i>                      | 116.145 | 14,28 |
| <i>Ricinus</i>                      | 2.068   | 0,25  |
| <i>Rumex</i>                        | 11.459  | 1,41  |
| <i>Salix</i>                        | 300     | 0,04  |
| <i>Typha</i>                        | 1.141   | 0,14  |
| <i>Ulmus</i>                        | 476     | 0,06  |
| <b>Umbelliferae</b>                 | 2.340   | 0,29  |
| <i>Urtica membranacea*</i>          | 9.236   | 1,14  |

**Tabla 4.10.** Índice polínicos anual medio y porcentajes de la contribución de los distintos tipos polínicos en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015 (\*1995-2015).

#### 4.2.1. Discusión

El análisis del espectro polínico muestra que en la atmósfera de Málaga, durante el periodo 1992-2015, aparecieron, de forma regular y constante, 36 tipos polínicos, de los cuales 21 proceden de especies leñosas y 15 de plantas herbáceas con porcentajes de 73,95% y 26,05%,

respectivamente del contenido polínico total. Asimismo, los tipos polínicos más abundantes, los que han alcanzado niveles superiores o iguales al 1% del espectro total, proceden fundamentalmente de la flora ornamental de la ciudad como el caso de Cupressaceae, *Platanus*, Myrtaceae y *Casuarina*, mientras que otros proceden de cultivos como *Olea europaea*, formaciones naturales como *Quercus* y Poaceae, de masas forestales de repoblación, como *Pinus*; o de la vegetación ruderal, como Chenopodiaceae-Amaranthaceae, *Plantago*, *Parietaria*, *Rumex* y *Urtica membranacea*. Todo ellos, en conjunto, representaron un 93,29% como promedio del índice polínico anual. Aunque el orden según su abundancia oscila dependiendo de los años y la estación aerobiológica, Málaga comparte con Estepona (Recio *et al.*, 1998a; 2006) y Nerja (Docampo, 2008), así como con otras ciudades de Andalucía, la presencia destacada de tipos de polen como Cupressaceae, *Olea*, Poaceae, *Quercus*, Chenopodiaceae-Amaranthaceae (Alba & De la Guardia, 1999; Candau *et al.*, 2002; González-Minero *et al.* 2002; Nieto-Lugilde, 2008; García-Mozo *et al.*, 2016). Asimismo, en todos los trabajos anteriormente mencionados, si bien se aprecian similitudes a nivel cualitativo, también se registraron diferencias a nivel cuantitativo. De este modo, hay que señalar la importancia de la distribución de la flora y de las características micro climáticas de cada localidad, considerados éstos como los factores más influyentes en el orden de abundancia con el que aparecen los diferentes tipos polínicos.

La situación es completamente distinta en otras regiones centrales y del norte de Europa en lo que al espectro polínico se refiere, ya que aparecen tipos polínicos que no se detectan o que son poco frecuentes en nuestra zona como es el caso del tipo *Ambrosia* en Szeged, Hungría (Marka *et al.*, 2011) o del tipo *Ostrya* en Trentino, Italia (Cristofori *et al.*, 2010) o bien de *Betula* y de *Corylus* en ciudades como Stockholm, Suecia (Lind *et al.*, 2016).

En el caso del tipo polínico más relevante, *Olea* que representó el 32,5 % del espectro polínico total siendo el taxón más abundante en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015, los elevados índices polínicos anuales están debido a la existencia de amplias zonas próximas destinadas al cultivo del olivo, como la comarca de Antequera, que hacen que durante el periodo de polinación, si el viento procede del NO, se registren elevados niveles de polen de este taxón en la capital tal como pusiera de manifiesto por Recio *et al.* (1996). Este comportamiento coincide al observado en otras provincias andaluzas, especialmente citamos como ejemplo la provincia de Jaén donde se registran las concentraciones más elevada de polen de *Olea* en toda España (Martínez-Bracero *et al.*, 2015), consecuencia directa de la superficie dedicada a este cultivo en dicha localidad.

El resto de los tipos polínicos, en número de 23, aparecen en la atmósfera de Málaga en cantidades menores, con porcentajes que oscilan entre el 0,06% y el 0,89% del espectro polínico total, representando así, conjuntamente, un porcentaje medio de 6,71% durante los años estudiados. En dicho grupo se incluye 13 táxones de especies leñosas (*Alnus*, *Betula*, *Fraxinus*, *Ligustrum*, *Populus*, *Parkinsonia*, *Castanea*, *Morus*, *Palmae*, *Ulmus*, *Salix*, *Pistacia* y Ericaceae) junto con 10 táxones de especies herbáceas (*Cannabis*, Compositae, Cyperaceae, *Echium*, *Mercurialis*, *Ricinus*, *Typha*, Umbelliferae, *Artemisia* y Brassicaceae). En general, el que estas últimas especies estén presentes de forma más reducida en el espectro polínico de la atmósfera de Málaga se debe, es por una parte, al carácter entomófilo de algunas especies, y por otra, a que la localización de las fuentes emisoras se encuentran en zonas alejadas de la estación de muestreo.

La aparición de tipos polínicos poco frecuentes o bien apenas representados en nuestra área de estudio como *Alnus*, *Betula* o *Cannabis*, se debe al efecto de los vientos que contribuyen al transporte a media o larga distancia de sus granos de polen (Cabezudo *et al.*, 1997). No obstante, en determinados casos, la representación total de los granos de polen de algunos tipos polínicos, se puede ver reducida por la distribución restringida de algunas especies propias de riberas de ríos o hábitats similares, entre las que se encuentran *Fraxinus*, *Cyperaceae*, *Thypha* o bien a las diferencias en las prácticas de manejo de especies ruderales como el caso de *Rumex* o *Mercurialis*.

La media del índice polínico anual registrado durante el periodo estudiado fue 34.833. Sin embargo, el comportamiento general del polen total en Málaga muestra variaciones interanuales con una cierta tendencia a la alternancia bianual de los IPAs ya que, de forma general, los años impares presentaron registros más elevados que en los años pares, pudiendo ser dichas diferencias un reflejo de la alternancia bianual detectada en algunas especies de elevada incidencia, como es el caso del olivo. Sin embargo, esas diferencias encontradas en los índices polínicos anuales, también podrían deberse al diferente comportamiento de los parámetros meteorológicos registrados en cada uno de los años, tales como la distribución de las temperaturas, las precipitaciones o cambios en la frecuencia de los vientos (García Mozo *et al.*, 2010b; Rajo *et al.*, 2015; Galán *et al.*, 2016). Esto se aprecia claramente en Málaga ya que se ha observado que existen grandes diferencias interanuales en las cantidades de lluvias registradas en nuestra área de estudio, así como el número de días con lluvias (Fig. 4.4), lo cual consigue explicar en parte este comportamiento.

Durante el periodo 1992-2015, los índices polínicos anuales en la atmósfera de Málaga no mostraron una tendencia clara a disminuir o a aumentar (Fig. 4.13). Un mismo patrón de comportamiento ha sido descrito con los resultados obtenidos en el trabajo realizado por Ziello *et al.* (2012), en diferentes localidades en Europa. Probablemente esta falta de tendencia se debe a la implicación de múltiples tipos polínicos, cada uno de ellos con su tendencia particular, junto con la influencia que ejercen los diversos parámetros meteorológicos y medioambientales, tales como la distribución de la vegetación o el comportamiento fenológico.

En lo que se refiere a la dinámica estacional, se observa que las mayores concentraciones medias diarias se alcanzan desde febrero hasta julio (Fig. 4.14), registrándose el 24,21% del polen total anual en el mes de abril y el 34,34% en el mes de mayo, siendo éste el único mes en el que se observó una tendencia significativa al aumento de los niveles de polen durante el periodo estudiado (Tabla 4.9). Por el contrario, el periodo anual con menor incidencia polínica está comprendido entre agosto y enero, con porcentajes con respecto al polen total anual que oscila entre el 2,36% en mes de octubre y el 0,99% en el mes de diciembre. Este comportamiento, a gran escala, es similar al observado en numerosas estaciones de monitorizaje aerobiológico del área mediterránea como Perugia, Italia (Fornaciari *et al.*, 1996), Évora, Portugal (Caeiro *et al.*, 2007) o, Túnez (Hadj Hamda *et al.*, 2017) por citar algunos.

En lo que se refiere a las semanas en las que se alcanzan las máximas concentraciones de polen en el aire, se observa una tendencia al retraso de la semana pico. Esto podría estar debido a las condiciones climáticas previas a la floración, especialmente en el caso de las plantas herbáceas (Smith *et al.*, 2009) pero también en el de las leñosas, tal como ocurre en *Olea* (Galán *et al.*, 2001b). Sin embargo, la disponibilidad del agua se muestra como el mayor factor limitante en las



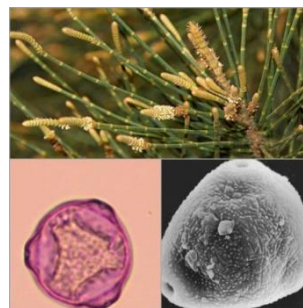
diferentes áreas de la zona mediterránea, entre ellas Málaga, en donde se observó, no sólo un ligero descenso de las cantidades de lluvias registradas durante el periodo estudiado, sino también un incremento de las temperaturas y de las horas de sol, así como una tendencia al descenso de la humedad relativa, factores que influyen en la disponibilidad del agua en el suelo. No obstante, hay que señalar la influencia de la propia fisiología de cada planta ya que algunas especies se adaptan mejor que otras al déficit hídrico. Por otra parte, según Ziello *et al.* (2012), la duración y la intensidad del PPP, podrían probablemente reducirse notablemente en los próximos años, especialmente para las especies nativas del área mediterránea, donde los mayores cambios se esperan en las temperaturas del invierno. Asimismo, se observó que las horas de frío acumuladas previas a la floración suponían un parámetro indispensable junto con la acumulación de temperatura, para sobrepasar la etapa de dormancia e iniciar la floración (Jato *et al.*, 2000; Garcia-Mozo *et al.*, 2000). Un desequilibrio de los requerimientos de frío puede retrasar el inicio de la estación polínica, y por consecuencia retrasar los picos máximos.

### 4.3. TIPOS POLÍNICOS PRINCIPALES

Se incluyen en este apartado todos aquellos tipos polínicos que, para el conjunto de los años estudiados llegaron a superar el porcentaje del 1% del total de los registros de polen obtenidos para la atmósfera de Málaga.

#### 4.3.1. Tipo polínico *Casuarina*

Único género de la familia Casuarinaceae, integrado por alrededor de 70 especies, procedentes del sudeste de Asia, Australia e islas del sudoeste del Pacífico. Se utilizan ampliamente en Andalucía como árboles de paseo y de jardín. Otras veces se cultivan para estabilizar dunas o proteger erosionadas. Se trata de un árbol de aspecto parecido a un pino, por lo que se le conoce comúnmente con el nombre de pino australiano.



##### 4.3.1.1. Descripción botánica

Se trata de árboles perennifolios de tronco recto y copa al principio piramidal, aunque luego se vuelve redondeada con la edad. Hojas escamosas, que se disponen de manera verticilada en los nudos de las ramillas, que son articuladas y verdosas. Flores unisexuales, las masculinas se disponen en espigas alargadas, mientras que las femeninas dan lugar a inflorescencias globosas o elipsoides de 1 a 1,5 cm de longitud, que se asemejan a pequeñas piñas de coníferas. La especie más representativa en Málaga es *Casuarina cunninghamiana* Miq.

##### 4.3.1.2. Época de floración/polinización

Florece en otoño, de octubre a diciembre. La polinización es típicamente anemófila.

##### 4.3.1.3. Morfología polínica

El grano de polen es 3-zonoporado, isopolar, radiosimétrico. Triangular en vista polar, angularperturado, con los lados convexos. Elíptico en vista ecuatorial. Oblado. Tamaño mediano. Aberturas simples, de tipo poro, de 2-3  $\mu\text{m}$  de diámetro. Exina de 1,5-2  $\mu\text{m}$  de grosor, algo más gruesa alrededor de las aberturas, e intina engrosada, por debajo de las mismas. Superficie rugulada, con pequeñas espínulas como elementos suprategmales.

#### 4.3.1.4. Variación interanual

El tipo polínico de *Casuarina* ocupó la novena posición entre los tipos más abundante en la atmósfera de Málaga, con un índice polínico anual medio de 653 representando el 1,80 % del polen total durante el periodo de estudio. Se observa que existen diferencias interanuales de los IPAs de este tipo polínico, ya que oscilaron entre 171 (año 2015) y 2.259 (año 1996). De hecho, se observa que su contribución al espectro polínico total anual fue variable, con un porcentaje del 5,29% en el año de mayor incidencia (1996) y frente al 0,55% del año 2001, el de menor incidencia (Tabla 4.11).

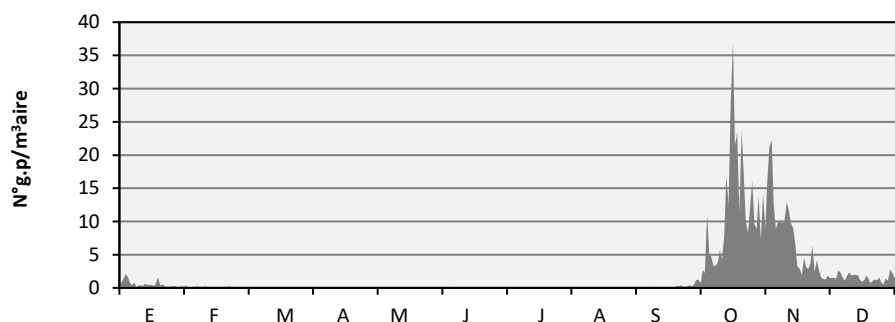
| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 275   | 1,24    | 43          |
| 1993  | 787   | 2,59    | 43          |
| 1994  | 716   | 2,63    | 41          |
| 1995  | 720   | 3,51    | 41          |
| 1996  | 2.259 | 5,29    | 40          |
| 1997  | 1.768 | 2,69    | 41          |
| 1998  | 1.233 | 3,60    | 42          |
| 1999  | 1.089 | 2,38    | 45          |
| 2000  | 457   | 1,40    | 47          |
| 2001  | 243   | 0,55    | 45          |
| 2002  | 417   | 1,34    | 42          |
| 2003  | 535   | 1,35    | 44          |
| 2004  | 359   | 1,43    | 45          |
| 2005  | 302   | 0,70    | 41          |
| 2006  | 176   | 0,65    | 44          |
| 2007  | 396   | 0,85    | 43          |
| 2008  | 344   | 1,07    | 49          |
| 2009  | 415   | 1,00    | 45          |
| 2010  | 713   | 1,75    | 44          |
| 2011  | 519   | 1,87    | 47          |
| 2012  | 571   | 1,94    | 42          |
| 2013  | 645   | 1,55    | 45          |
| 2014  | 553   | 1,35    | 41          |
| 2015  | 171   | 0,56    | 42          |
| Media | 653   | 1,80    | 43          |

**Tabla 4.11.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.1.5. Variación estacional

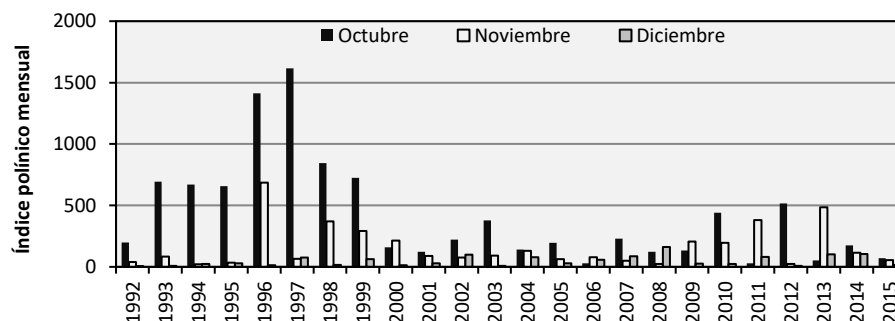
Considerando el periodo total estudiado, se observa que las concentraciones medias diarias del polen de *Casuarina* comienzan a detectarse en la atmósfera de Málaga a finales del mes de septiembre, alcanzando el pico máximo en el mes de octubre con un promedio de 37 granos de polen/m<sup>3</sup>. Posteriormente, los niveles descienden a partir de la segunda quincena de noviembre y encontramos un periodo de dos meses desde diciembre hasta enero en el que el polen continúa apareciendo con concentraciones muy bajas o prácticamente nulas (Fig. 4.15).

En cuando a la distribución semanal, a lo largo de los 24 años estudiados, se observa que los niveles máximos de este tipo se detectan entre las semanas 40 y 49 pero más frecuentemente entre las semanas 41 y 42.



**Figura 4.15.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El patrón de la distribución mensual muestra que fue en el mes de octubre cuando se alcanzaron las mayores concentraciones del polen de *Casuarina* durante la mayoría de los años analizados, con índices polínicos mensuales que fluctuaron entre 28 (año 2006) y 1.615 (año 1997). Por otra parte, se observó que, durante los años 2006, 2009, 2011 y 2013, los índices polínicos mensuales máximos se detectaron en el mes de noviembre, mientras que sólo en el año 2008, se detectó en el mes de diciembre (Fig. 4.16).



**Figura 4.16.** Índices polínicos mensuales obtenidos en octubre, noviembre y diciembre para el tipo polínico *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Al considerar cada año por separado, la evolución de las concentraciones medias diarias del tipo *Casuarina* muestra un periodo de mayor incidencia en los meses de octubre y noviembre, que es cuando se alcanzan las concentraciones más elevadas. Todos los años presentan un comportamiento similar, con una marcada estacionalidad, excepto por algunas diferencias puntuales que marcaron la dinámica de este tipo polínico, ya que en los años 1996 y 1999 se detectaron dos periodos de intensidades elevadas. Por otra parte, observamos que a partir del año 2000 se registraron concentraciones medias diarias más bajas en comparación que los primeros 8 años de la serie estudiada, si exceptuamos el año 1992, inferiores incluso al patrón promedio de

los 24 años, si bien los años 2003, 2010, 2011, 2012 y 2013 destacaron por presentar picos máximos con valores superiores al promedio (Fig. 4.17).

### 4.3.1.6. Periodo de Polinación Principal

Al considerar el periodo completo de los años 1991-2015, se observa que la duración media del PPP del polen de *Casuarina* fue de 85 días. La fecha media del inicio tiene lugar en la primera semana de octubre (el día 06-10) mientras que el final ocurre a principios de enero (el día 05-01).

La duración de la estación polínica de este tipo ha fluctuado entre un mínimo de 33 días (1991/1992) y un máximo de 257 días (2007/2008). El índice polínico medio obtenido durante el PPP fue de 636 ya que osciló entre los 175 (2006/2007) y 2.162 (1996/1997) (Tabla 4.12).

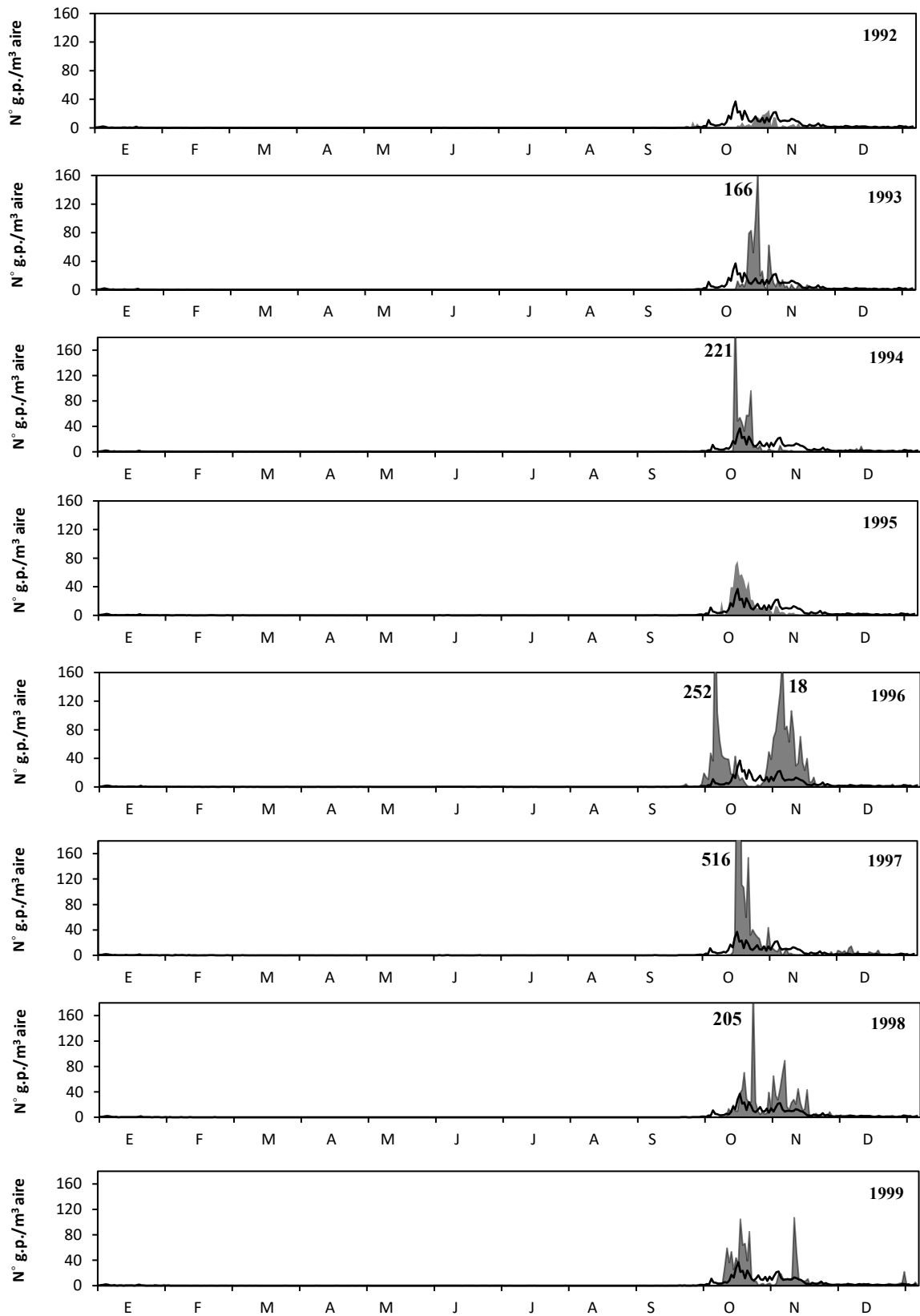
Durante los distintos años, se observó que los días de máxima concentración media diaria tuvieron lugar entre la segunda quincena del mes de octubre y la primera semana de noviembre, con excepción de la temporada 2008/2009 en la que el pico se produjo el día 06-12-2008. Las concentraciones alcanzadas en los días pico fluctuado entre un mínimo de 25 granos de polen/m<sup>3</sup> (1992/1993) y un máximo de 516 granos de polen/m<sup>3</sup> (1997/1998).

Los periodos pre-pico de *Casuarina* fueron muy cortos, con una duración promedio de 20 días, oscilaron entre 1 día (1994/1995) y 67 días (2008/2009). Los índices polínicos registrados durante dicho periodo también fueron variables de un año a otro, siendo el valor más alto de 769 (1999/2000) mientras el más bajo fue de 2 (1994/1995), con un promedio de 182.

En lo que se refiere al periodo post-pico, la duración media fue de 75 días, algo superior al del periodo pre-pico, oscilando entre un mínimo de 22 días (2000/2001) y un máximo de 232 días (2007/2008).

Las cantidades de polen mostraron un comportamiento poco estable con grandes diferencias de un año a otro, con valores del índice polínico que oscilaron entre un mínimo de 97 (1992/1993) y un máximo de 2.067 (1996/1997).

## Resultados



**Figura 4.17.** Concentraciones medias diarias de polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

## Resultados

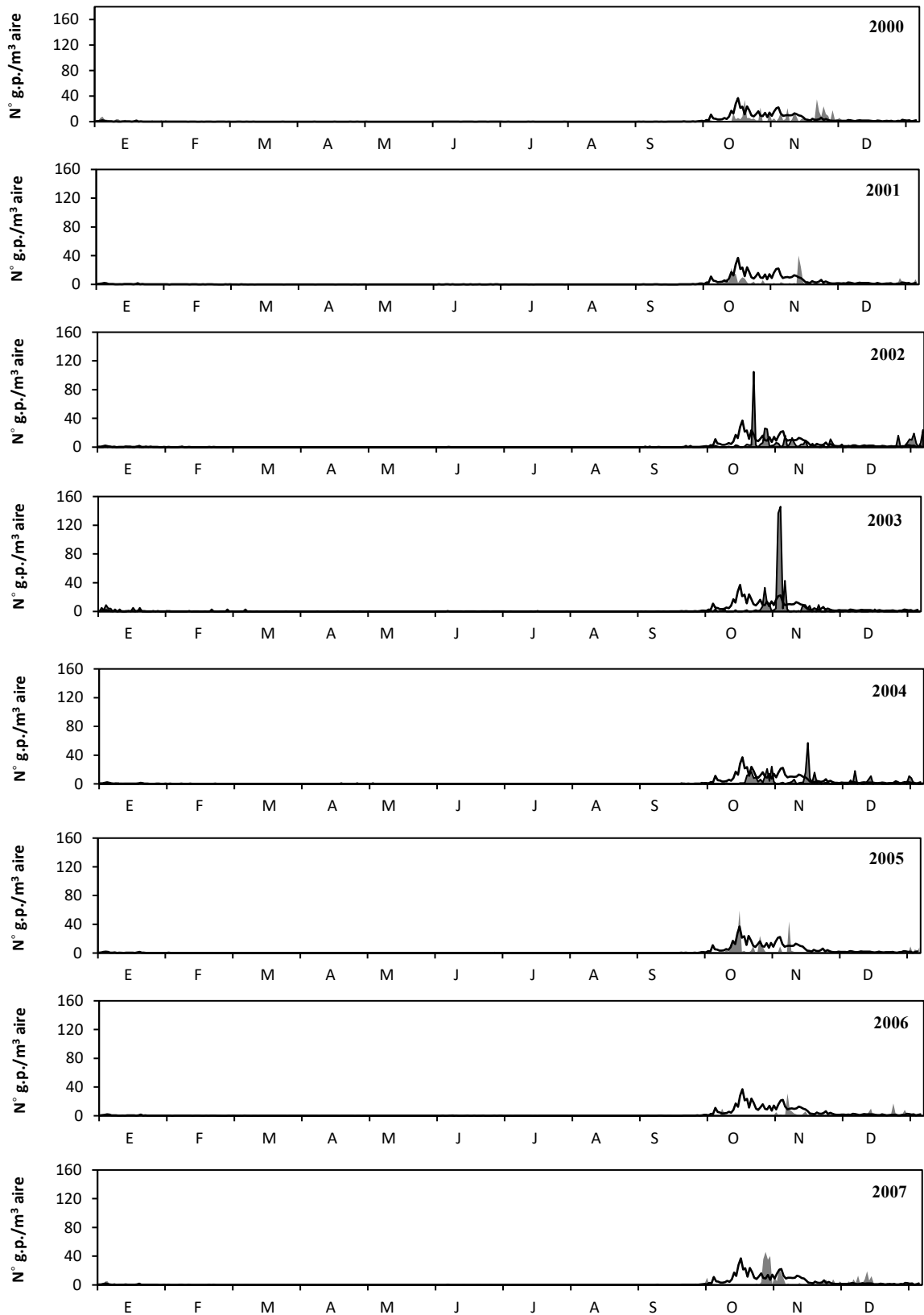


Figura 4.17. Continuación

## Resultados

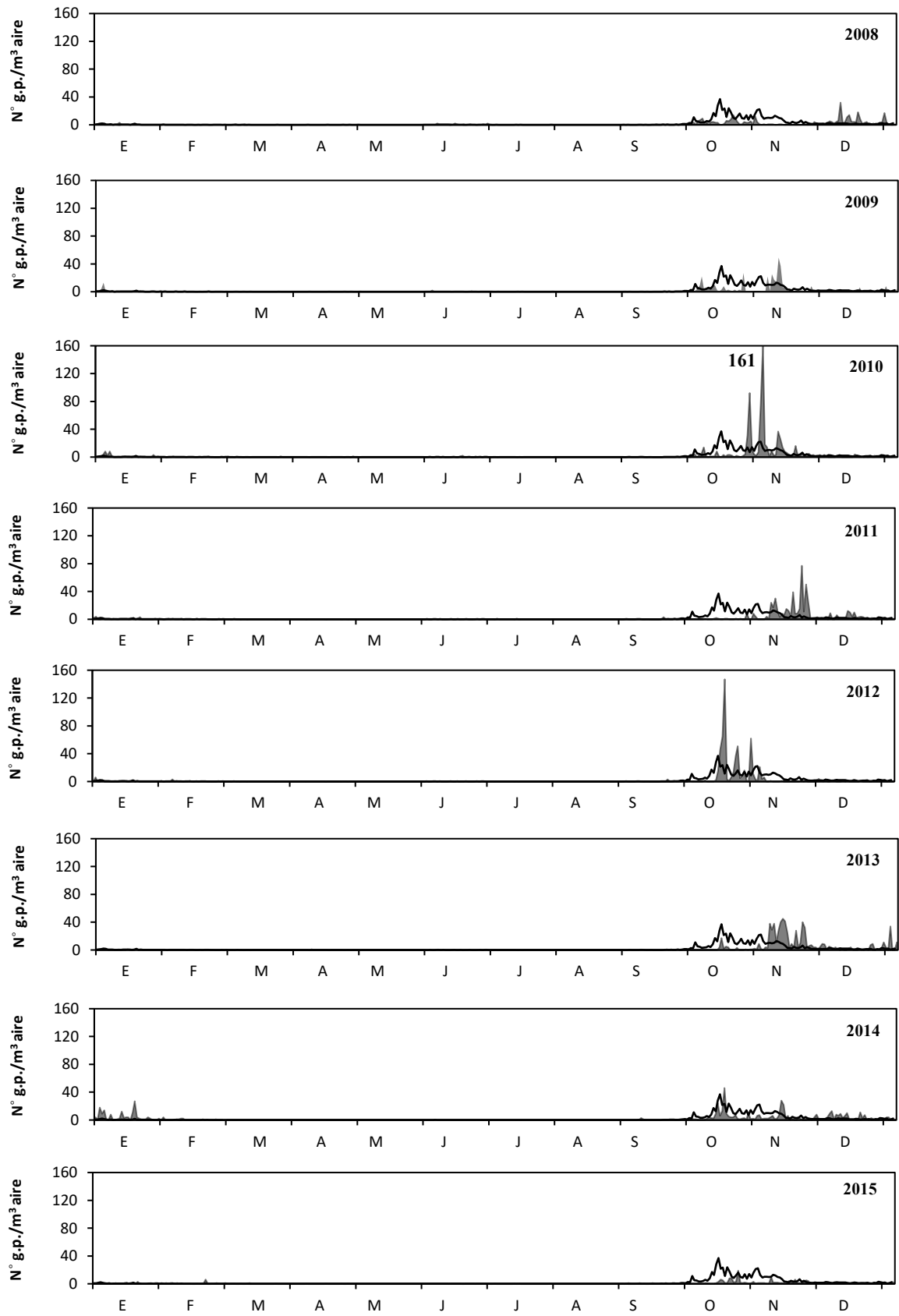


Figura 4.17. Continuación.



## Resultados

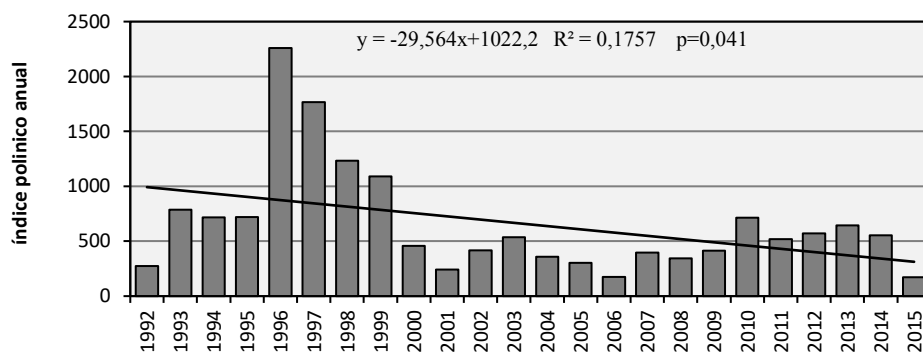
| Periodo   | PPP (95%)                        |          |            | Valores máximos |                                     | Pre-pico |            | Post-pico |            |
|-----------|----------------------------------|----------|------------|-----------------|-------------------------------------|----------|------------|-----------|------------|
|           | Periodo Inicio-Final             | Duración | Total (IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup> Media diaria | Duración | Total (IP) | Duración  | Total (IP) |
| 1991-1992 | 17-10-1991 (47)/17-11-1991 (78)  | 33       | 340        | 20-10-1991 (50) | 57                                  | 3        | 41         | 30        | 299        |
| 1992-1993 | 21-09-1992 (21)/27-11-1992 (88)  | 69       | 263        | 27-10-1992 (57) | 25                                  | 36       | 166        | 33        | 97         |
| 1993-1994 | 14-10-1993 (44)/17-11-1993 (78)  | 36       | 755        | 22-10-1993 (52) | 166                                 | 8        | 246        | 28        | 509        |
| 1994-1995 | 09-10-1994 (39)/03-12-1994 (94)  | 58       | 697        | 10-10-1994 (40) | 221                                 | 1        | 2          | 57        | 696        |
| 1995-1996 | 05-10-1995 (35)/15-12-1995 (106) | 145      | 706        | 12-10-1995 (42) | 76                                  | 6        | 185        | 139       | 521        |
| 1996-1997 | 28-09-1996 (28)/13-11-1996 (74)  | 47       | 2.162      | 01-10-1996 (31) | 252                                 | 3        | 95         | 44        | 2.067      |
| 1997-1998 | 11-10-1997 (41)/05-12-1997 (96)  | 57       | 1.714      | 13-10-1997 (43) | 516                                 | 2        | 375        | 55        | 1.339      |
| 1998-1999 | 08-10-1998 (38)/26-11-1998 (87)  | 51       | 1.191      | 18-10-1998 (48) | 205                                 | 10       | 274        | 41        | 917        |
| 1999-2000 | 06-10-1999 (36)/10-01-2000 (132) | 98       | 1.108      | 06-11-1999 (67) | 107                                 | 31       | 769        | 67        | 339        |
| 2000-2001 | 30-09-2000 (30)/05-12-2000 (96)  | 68       | 380        | 16-11-2000 (77) | 35                                  | 46       | 233        | 22        | 147        |
| 2001-2002 | 06-10-2001 (36)/14-01-2002 (136) | 101      | 241        | 08-11-2001 (69) | 40                                  | 32       | 128        | 69        | 113        |
| 2002-2003 | 09-10-2002 (39)/10-02-2003 (163) | 128      | 443        | 17-10-2002 (47) | 105                                 | 8        | 16         | 120       | 109        |
| 2003-2004 | 15-10-2003 (45)/09-12-2003 (101) | 59       | 460        | 30-10-2003 (60) | 146                                 | 15       | 216        | 44        | 244        |
| 2004-2005 | 14-10-2004 (44)/02-01-2005 (124) | 82       | 349        | 10-11-2004 (72) | 56                                  | 27       | 169        | 55        | 180        |
| 2005-2006 | 07-10-2005 (37)/01-01-2006 (123) | 88       | 286        | 12-10-2005 (42) | 42                                  | 5        | 60         | 83        | 226        |
| 2006-2007 | 01-10-2006 (31)/05-01-2007 (128) | 99       | 175        | 01-11-2006 (62) | 62                                  | 30       | 28         | 69        | 147        |
| 2007-2008 | 27-09-2007 (27)/08-06-2008 (282) | 257      | 391        | 23-10-2007 (53) | 46                                  | 25       | 56         | 232       | 366        |
| 2008-2009 | 29-09-2008 (29)/01-06-2009 (274) | 247      | 349        | 06-12-2008 (97) | 97                                  | 67       | 174        | 180       | 175        |
| 2009-2010 | 02-10-2009 (32)/27-01-2010 (149) | 119      | 397        | 07-11-2009 (68) | 48                                  | 35       | 210        | 84        | 187        |
| 2010-2011 | 03-10-2010 (33)/02-01-2011 (124) | 93       | 664        | 31-10-2010 (61) | 161                                 | 27       | 276        | 66        | 388        |
| 2011-2012 | 20-10-2011 (50)/02-01-2012 (124) | 75       | 490        | 19-11-2011 (80) | 77                                  | 29       | 228        | 64        | 262        |
| 2012-2013 | 12-10-2012 (42)/28-11-2012 (89)  | 49       | 533        | 15-10-2012 (45) | 147                                 | 3        | 126        | 46        | 407        |
| 2013-2014 | 12-10-2013 (42)/25-01-2014 (147) | 107      | 764        | 09-11-2013 (70) | 45                                  | 27       | 240        | 80        | 524        |
| 2014-2015 | 30-09-2014 (31)/06-02-2015 (159) | 130      | 412        | 14-10-2014 (44) | 46                                  | 12       | 65         | 118       | 347        |
| 1991-2015 | 06-10(36)/05-01 (127)            | 85       | 636        | 27-10 (57)      | 116                                 | 20       | 182        | 65        | 442        |

Tabla 4.12. Indicadores del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1991-2015).

#### 4.3.1.7. Estudio de tendencias

##### ▪ Índice polínico anual

En la figura 4.18 se aprecia que los índices polínicos de *Casuarina* presentan un patrón irregular, con valores que varían de un año a otro. Estos índices polínicos fueron mayores durante el periodo 1996-1999, con registros que superan el valor de 1.000. Posteriormente, esos índices disminuyen considerablemente con valores que apenas superan el índice de 500. En lo que, al análisis de la tendencia de este parámetro en la atmósfera de Málaga, se refiere, los resultados de la prueba de *Mann-Kendall* muestran que los índices polínicos anuales presentan una tendencia negativa, es decir, a disminuir los niveles anuales de polen, y estadísticamente significativa. Por otra parte, si tenemos en cuenta la pendiente de *Sen*, se observa que la evolución de los registros de *Casuarina* arroja un valor negativo de -18,99 (Tabla 4.13).



**Figura 4.18.** Evolución del índice polínico anual del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,239            | 0,008 | -18,99           |

**Tabla 4.13.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga, mediante el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

##### ▪ Niveles del polen de *Casuarina*

En la tabla 4.14, se muestran los resultados obtenidos durante los 24 años estudiados acerca de la evolución del número de días en que se registran diferentes niveles de las concentraciones de polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga, según la categoría del grupo 3 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007). Así, se observa que los días con niveles nulos (<1 g.p./m<sup>3</sup>) fueron 298 (±19) de media, oscilando entre 254 y 326 días, según el año. Por otra parte, los niveles bajos, es decir, comprendidos entre 1-30 g.p./m<sup>3</sup> presentaron una media de 62 (±21) días. Para las dos

categorías de niveles moderados y altos, se observa que la media fue de tan sólo 3 días en ambos casos. De hecho, se puede ver que el nº de días con niveles moderados osciló entre 0 y 12, como máximo, con un porcentaje de variación relativamente alto de 109,8%, mientras que los días con niveles superiores a 50 granos de polen/m<sup>3</sup> oscilaron entre 0 y 14 días, con un coeficiente de variación del 133,4%. Todo ello indica la presencia de grandes oscilaciones en lo que a concentraciones medias diarias se refiere.

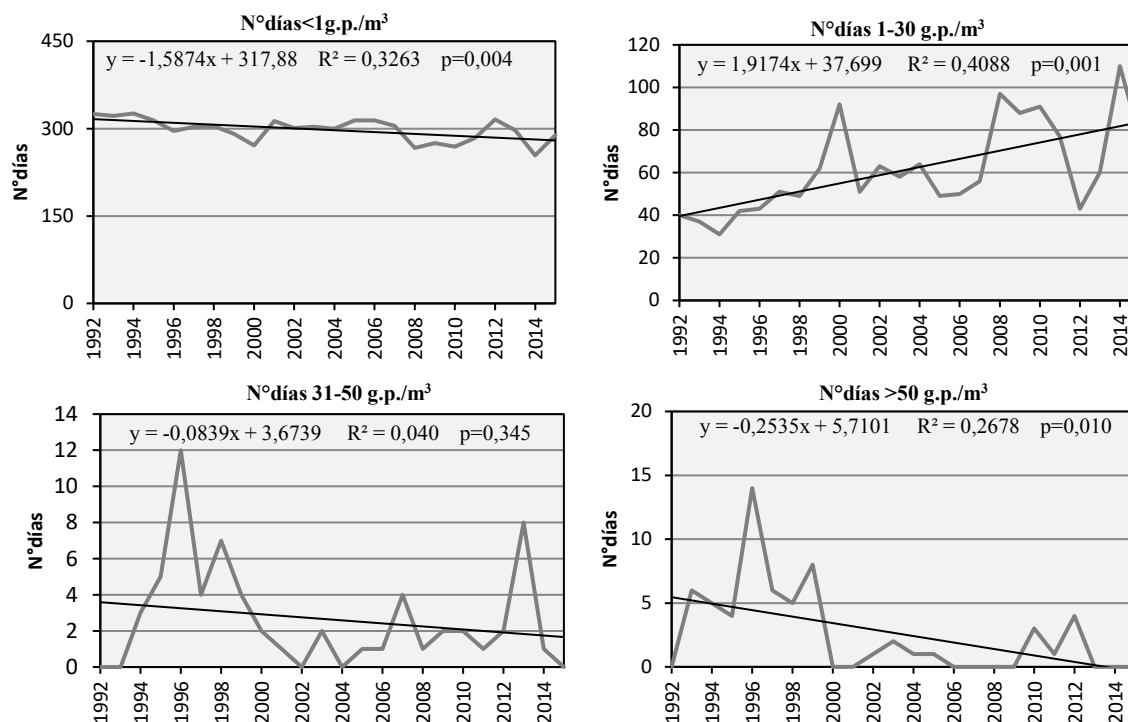
| Niveles                           | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1g.p./m <sup>3</sup>     | 254    | 326    | 298   | 19           | 6,45   |
| Nº días 1-30 g.p./m <sup>3</sup>  | 31     | 110    | 62    | 21           | 33,6   |
| Nº días 31-50 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 12     | 3     | 3            | 109,8  |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 14     | 3     | 3            | 133,4  |

**Tabla 4.14.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

El análisis de tendencia de los valores alcanzados en los intervalos anteriormente estudiados muestra valores negativos y significativos para el número de días sin polen en la atmósfera (<1 g.p./m<sup>3</sup>), al igual que para el nº de días con niveles altos, superiores a 50 g.p./m<sup>3</sup>. Por el contrario, se ha observado una tendencia significativa y positiva de los números de días de la categoría 1-30 g.p./m<sup>3</sup>. En el caso de la dinámica del número de días con niveles moderados (31-50 g.p./m<sup>3</sup>), se obtuvieron valores negativos, pero no estadísticamente significativos (Tabla 4.15, Fig. 4.19).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,387            | 0,009 | -1,56            |
| Nº días 1-30 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,506             | 0,001 | 1,89             |
| Nº días 31-50 g.p./m <sup>3</sup>  | -0,125            | 0,433 | 0                |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>    | -0,396            | 0,012 | -0,185           |

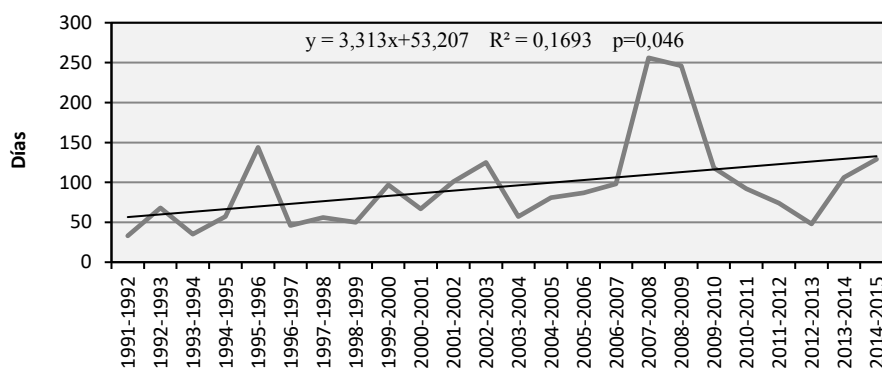
**Tabla 4.15.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Casuarina*, en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.19.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

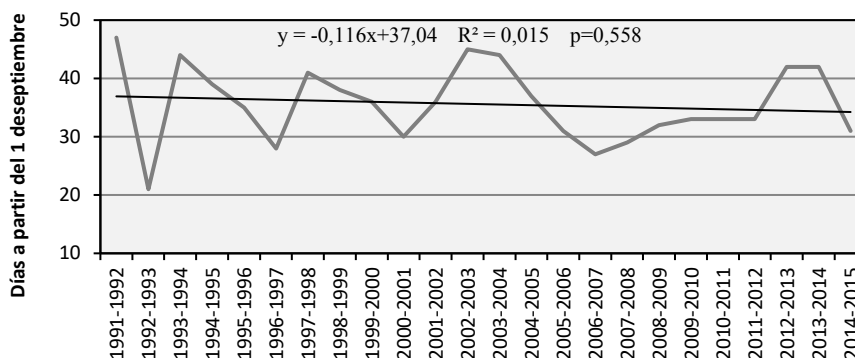
#### ▪ Parámetros del PPP

Analizando la dinámica de la duración del **periodo de polinación principal** del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga, se observa que hay una tendencia estadísticamente significativa ( $Z=0,381$ ,  $p=0,010$ ) al alargamiento de este periodo, considerando el total de los años analizados (Tabla 4.16), si bien la duración del PPP de este tipo polínico tuvo un patrón poco estable, con periodos muy largos de 247 y 257 días y otros muy cortos de 33 y 35 días (Fig. 4.20). El cálculo de la pendiente de *Sen* arrojó un valor igual a 3,05.



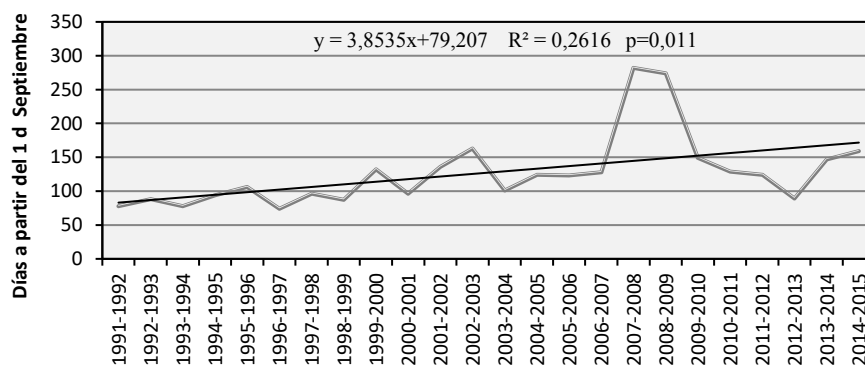
**Figura 4.20.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

En cuanto al **inicio de la estación** polínica de *Casuarina* se puede observar que existen ciertas fluctuaciones durante los distintos años, habiéndose registrado el día 21-09 (1992-1993) como la fecha más temprana, mientras que el día 17-10 fue la fecha más tardía, con un coeficiente de variación del 18%. De hecho, el comportamiento del inicio del PPP muestra un ligero tendencia a adelantarse, aunque estadísticamente no significativa ( $Z=-0,121$ ,  $p=0,426$ ), lo que viene corroborado por el cálculo de la pendiente de *Sen* que mostró una magnitud de signo negativo igual a  $-0,21$ , así como por la recta de regresión (Fig. 4.21, Tabla 4.16).



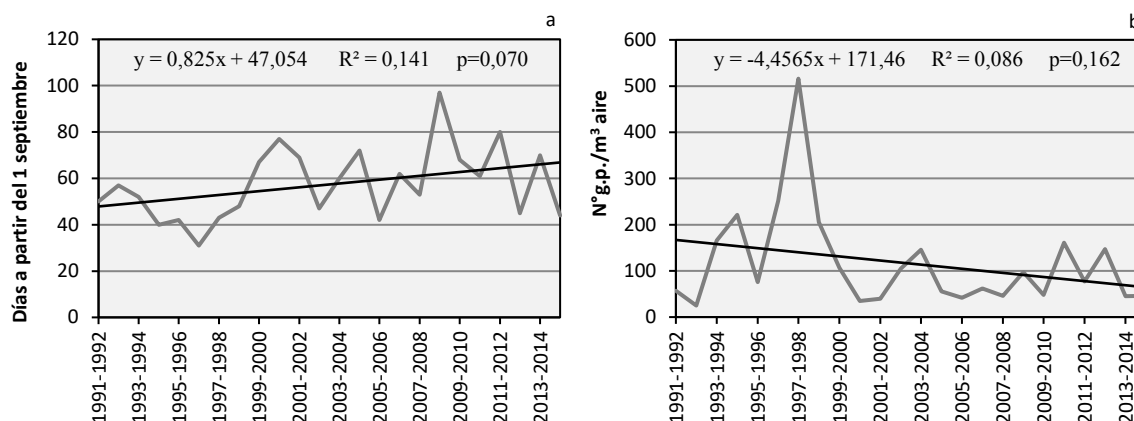
**Figura 4.21.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

En cuanto al **final del PPP**, el análisis realizado con la prueba de *Mann-Kendall*, al igual que el estudio de regresión, revelan que existe una tendencia significativa al retraso del final de la estación polínica de *Casuarina* en Málaga ( $Z=0,499$ ,  $p=0,001$ ). Las fechas del final de la estación mostraron un patrón relativamente estable excepto para los periodos 2007-2008 y 2008-2009 con fechas del final del PPP que se situaron en junio. El coeficiente de variación obtenido para el conjunto de los años fue del 41%. En los distintos años, las variaciones fueron altas con un porcentaje de variación igual a 41% (Fig. 4.22, Tabla 4.16).



**Figura 4.22.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

En cuanto de las fechas en las que se registra el **día pico**, se aprecia una tendencia no significativa al retraso ( $Z=0,258$ ;  $Q=0,87$ ). Los valores máximos de concentración media diaria (valor pico) del polen de *Casuarina* obtuvieron un promedio de 57 granos de polen/ $m^3$  ( $\pm 15$ ), mostrando una tendencia negativa pero, igualmente, no significativa a la disminución de las concentraciones máximas de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.23, Tabla 4.16).



**Figura 4.23.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del *Casuarina* (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1991-2015.

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | -0,121            | 0,426 | -0,21            |
| Final PPP    | 0,499             | 0,001 | 3,10             |
| Duración PPP | 0,381             | 0,010 | 3,05             |
| Día pico     | 0,258             | 0,082 | 0,87             |
| Valor pico   | -0,142            | 0,346 | -1,65            |

**Tabla 4.16.** Resumen de los resultados del test de *Mann-Kendall* y la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

#### 4.3.1.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

En la tabla (4.17) se muestra los resultados obtenidos al realizar el análisis de correlación entre las concentraciones medias diarias de polen de *Casuarina* y los principales parámetros meteorológicos, durante el PPP, incluyendo todos los años conjuntamente. Como se puede apreciar, aparecen coeficientes de correlación significativos y positivos con las temperaturas (máximas, medias, mínimas) y con el viento de cuarto cuadrante. Dichos coeficientes también son significativos en el caso de la velocidad media del viento y en el del viento del segundo cuadrante, aunque aparecen con signo negativo. Con el resto de los parámetros meteorológicos no se obtuvieron valores estadísticamente significativos.

Al dividir el PPP en dos periodos, observamos que durante el periodo pre-pico, los valores de los coeficientes de correlación se tornan negativos con las temperaturas, no llegando a alcanzar

valores significativos, mientras que se mantiene un patrón similar al del PPP completo con los vientos del segundo y cuarto cuadrante. Con la humedad relativa aparecieron coeficientes de correlación significativos y negativos, al igual que con las calmas.

En cuanto al periodo post-pico, aparecen de nuevo los coeficientes de correlación significativos y positivos con las temperaturas. Por otra parte, apareció un comportamiento similar para la humedad relativa al obtenido en el periodo pre-pico. También se obtuvieron coeficientes de correlación positivos y significativos con la velocidad media del viento, así como con el viento de cuarto cuadrante. Es de destacar que, aunque los coeficientes de correlación obtenidos en relación con la precipitación fueron negativos, en ningún caso se obtuvieron valores significativos.

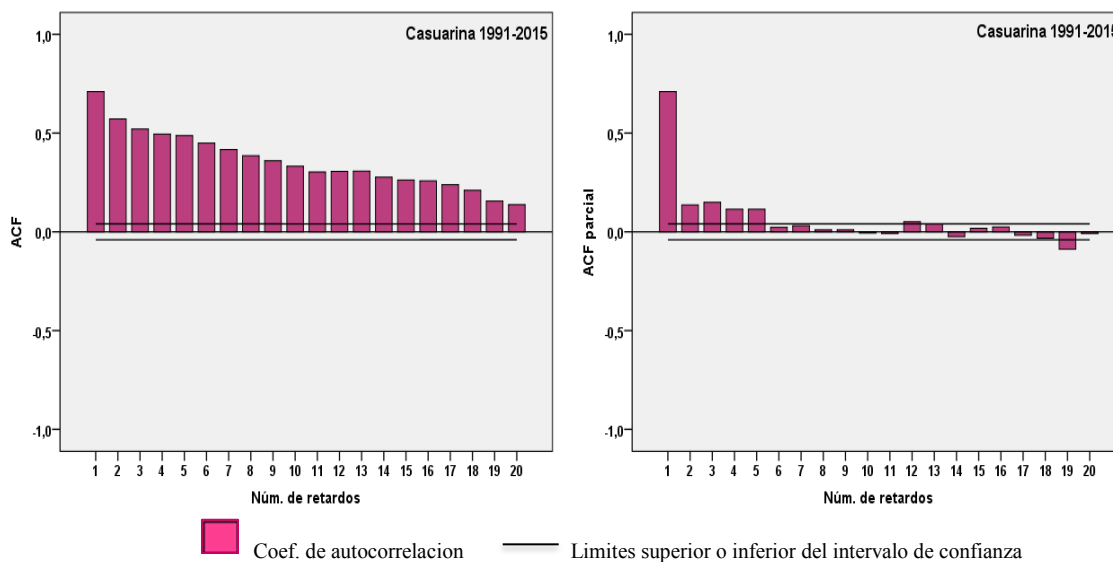
|                          | PPP<br>N=2281 | Pre-pico<br>N=485 | Post-pico<br>N=1796 |
|--------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,008        | -0,014            | -0,017              |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | 0,200***      | 0,025             | 0,175***            |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | 0,229***      | -0,011            | 0,192***            |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | 0,134**       | -0,024            | 0,165**             |
| <b>Humedad rel.</b>      | 0,009         | -0,116**          | -0,082**            |
| <b>Horas de Sol</b>      | 0,041         | 0,016             | 0,010               |
| <b>V. med. vt.</b>       | -0,099**      | 0,007             | -0,088**            |
| <b>%Vto. 1°C.</b>        | -0,005        | -0,052            | 0,001               |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,056*       | -0,196**          | 0,007               |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | 0,023         | 0,061             | 0,009               |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,052*        | 0,130**           | 0,067*              |
| <b>%Calma</b>            | 0,031         | -0,211***         | 0,040               |

**Tabla 4.17.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1991-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .

#### 4.3.1.9. Análisis de autocorrelaciones

La figura 4.24 muestra los resultados del análisis de autocorrelación para las concentraciones medias diarias del tipo polínico *Casuarina*, observándose un descenso progresivo del valor de los coeficientes significativos durante un periodo de tiempo considerado. Por otra parte, al realizar las autocorrelaciones parciales, se observa que el número de retardos con coeficientes significativos disminuye a un total de 5. Es de destacar que el retardo número 1,

correspondiente a la concentración con el día anterior, es el que presenta el mayor coeficiente significativo, siendo esta la razón por la que se optó por elegirlo variable independiente para incluirla en los modelos de pronóstico.



**Figura 4.24.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de concentraciones medias diarias de polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga (1991-2015).

#### 4.3.1.10. Modelos de pronóstico

Cuando se trata de explicar las concentraciones de polen de *Casuarina* durante el pre-pico en función de los parámetros meteorológicos, la regresión múltiple por pasos nos presenta dos modelos estadísticamente significativos, si bien que, el ajuste fue muy bajo. El primer paso dio lugar a un modelo de regresión simple, el cual incluyó la temperatura máxima como única variable independiente, mientras que en el segundo paso se incluyó la calma como segunda variable predictora. En ambos casos, los coeficientes de determinación alcanzaron valores muy bajos, 0,024 y 0,031, respectivamente (Tabla 4.18).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos          | R <sup>2</sup> | F     | p     |
|--------|---|----------------|-------|-------|
| 1a     | Casu=1,051 T <sup>a</sup> max-15,474              | 0,024          | 11,21 | 0,037 |
| 2a     | Casu=1,062 T <sup>a</sup> max -0,400 Calma-13,436 | 0,031          | 8,49  | 0,001 |

**Tabla 4.18.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Casuarina* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1991-2015).

Cuando, además de los parámetros meteorológicos, se incluyeron en el proceso de regresión múltiple por pasos, la concentración del día anterior ( $Cas_{t-1}$ ) y la D-media como otras variables independientes, se obtuvieron como resultados cuatro modelos estadísticamente significativos que presentaron coeficientes de regresión más elevados. En el primer paso, se incorpora la concentración del día anterior al modelo como única variable independiente. En el segundo paso, el modelo muestra una mejora tras incluir también la temperatura máxima. Por



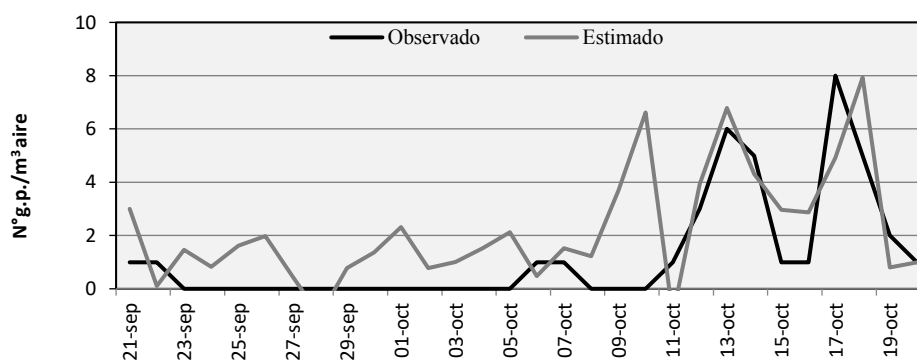
último, tras el paso final, se obtuvo un modelo que incluyó, además de los parámetros anteriores, la D-media y el porcentaje del viento de segundo cuadrante, elevándose el coeficiente de determinación hasta el valor de 0,271 (Tabla 4.19).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos  | R <sup>2</sup> | F      | p     |
|--------|---|----------------|--------|-------|
| 1b     | $Casu=0,799 Casu_{t-1}+3,452$   | 0,230          | 138,13 | 0,000 |
| 2b     | $Casu=0,793 Casu_{t-1}+0,960 T^a \max -18,947$                                  | 0,250          | 76,81  | 0,000 |
| 3b     | $Casu=0,776 Casu_{t-1}+0,776 T^a \max +0,351 Dmed-20,723$                       | 0,264          | 55,01  | 0,000 |
| 4b     | $Casu=0,779 Casu_{t-1}+0,861 T^a \max +0,348 Dmed-0,083 Vto^{\circ} .2C-18,181$ | 0,271          | 42,73  | 0,000 |

**Tabla 4.19.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Casuarina* en el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1991-2015).

▪ **Validación del mejor modelo**

Con el objetivo de contrastar la validez del mejor modelo de pronóstico obtenido, se han comparado los recuentos de polen de *Casuarina* durante el pre-pico del año 2016 (observado) con los datos obtenidos (esperados) mediante la ecuación de regresión del modelo 4b. La figura (4.25) muestra el comportamiento de las concentraciones medias diarias del polen de este tipo polínico obtenidas en 2016 y las estimadas usando la ecuación de regresión, pudiéndose apreciar una cierta asociación entre las dos variables. Tras realizar la prueba de correlación mediante el test de *Spearman*, se muestra una correlación positiva y significativa entre los datos observados y estimados, esto coincide con los resultados de la prueba de *Wilcoxon*, indicando que no existen diferencias significativas entre los datos comparados (Tabla 4.20).



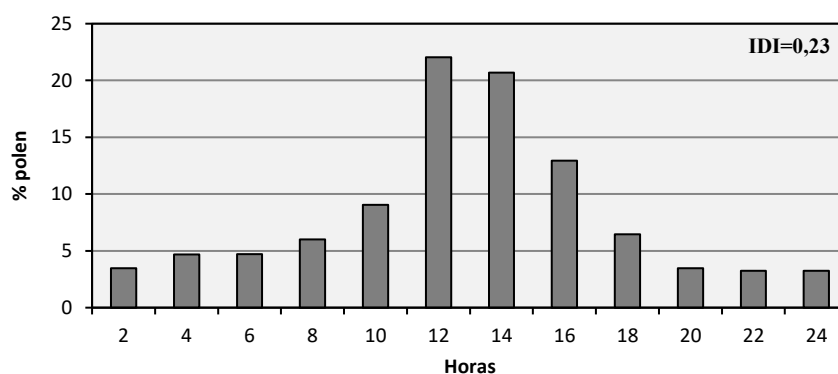
**Figura 4.25.** Concentraciones medias diarias del polen de *Casuarina* durante el periodo pre-pico 2015-2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 4b de las ecuaciones de regresión.

|   | <i>Spearman Test</i> |       | <i>Wilcoxon Test</i> |         |        |       |
|---|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|   | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 4b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,519                | 0,000 | 6                    | 19      | -1,585 | 0,113 |

**Tabla 4.20.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2015-2016), utilizando el mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.1.11. Variación intradiaria

El análisis del patrón promedio de la distribución intradiaria del polen de *Casuarina* muestra un pico máximo de las concentraciones de polen entre las 10:00 y las 14:00 horas, alcanzándose un máximo del 22% del polen diario hacia el mediodía. Posteriormente, los niveles bajan paulatinamente en las horas de la tarde. El valor medio de índice de distribución intradiaria IDI fue igual a 0,23, durante el periodo estudiado (1992-2015) (Fig. 4.26).



**Figura 4.26.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Las curvas de los distintos años, presentaron un patrón similar al promediado con un comportamiento bastante estable, registrándose las concentraciones máximas en torno de las horas del mediodía, si bien que se han observado fluctuaciones en cuanto a los valores del IDI se refiere, ya que oscilaron entre 0,14 (2001 y 2013) y 0,42 (1994). Estos valores fueron más altos durante el periodo 1992-2000 en comparación con los del periodo 2001-2015. El pico máximo absoluto se alcanzó en el año 1995, con un valor del 37,66% del polen total diario obtenido en torno de las 12:00 horas, mientras que el pico más bajo se obtuvo en el año 2013 con un porcentaje del 12,26% para esta misma hora (Fig. 4.27).

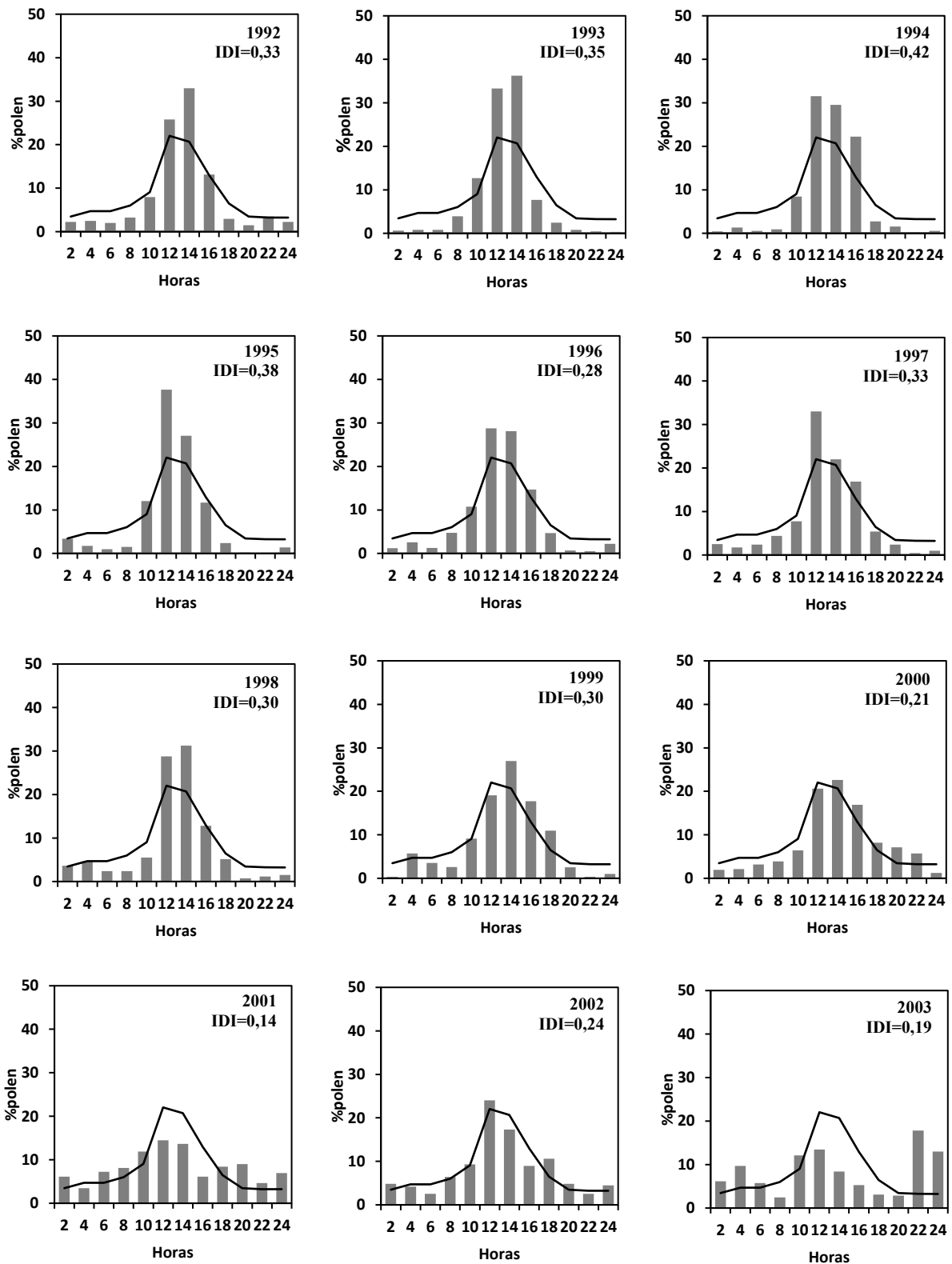


Figura 4.27. Variación intradiaria del polen de *Casuarina* para cada año del periodo estudiado (barras), así como los valores promedios (1992-2015) (líneas).

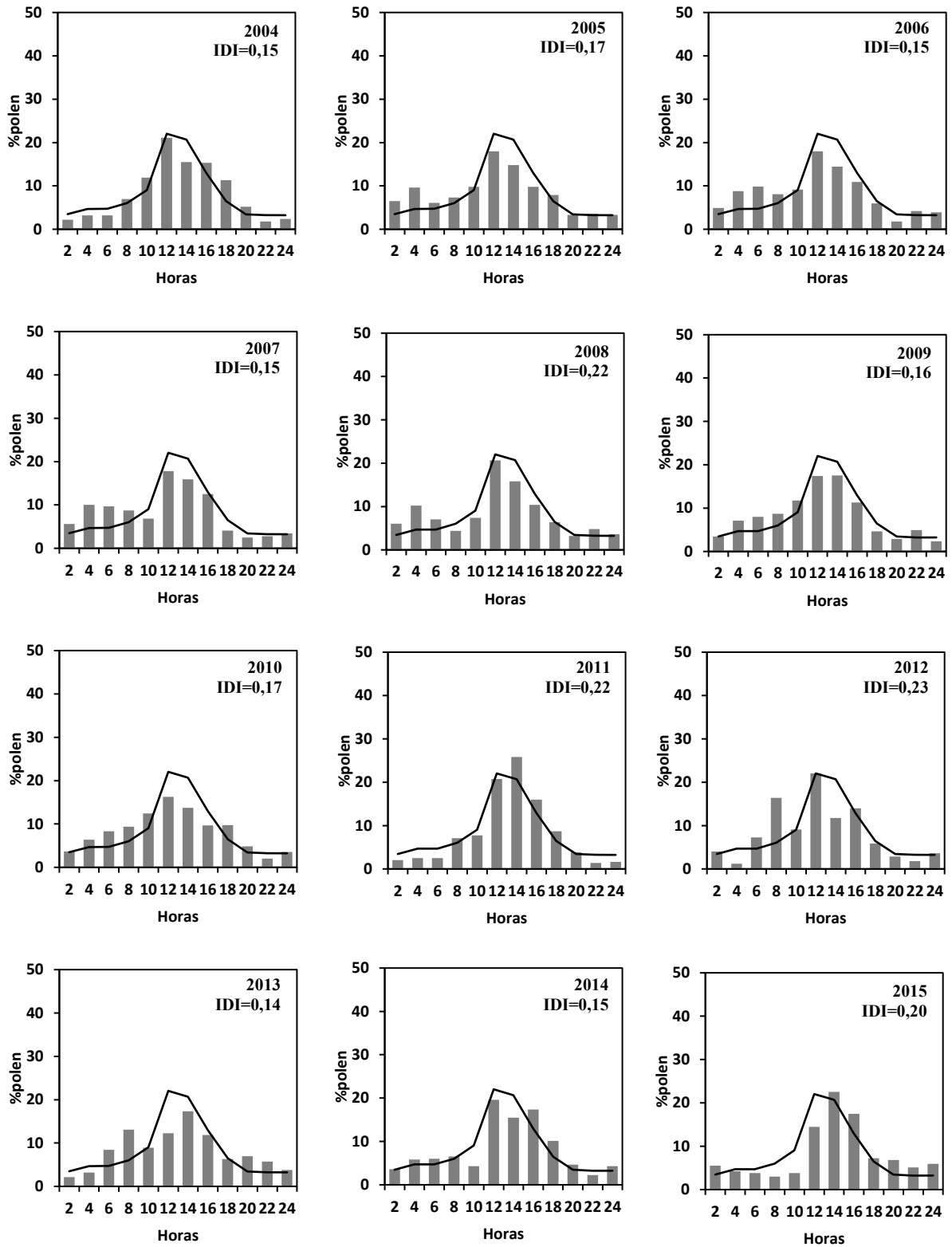


Figura 4.27. Continuación.



### 4.3.1.12. Discusión

El *Casuarina* o pino australiano presentó un 1,93% del total de polen en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015, ocupando el noveno lugar en orden de abundancia. Este tipo polínico muestra una dinámica estacional muy estable en nuestra localidad donde se detecta durante el otoño, principalmente en los meses de octubre y noviembre, probablemente porque este género está representado por una única especie, *Casuarina cunninghamiana*.

En un trabajo llevado a cabo para analizar el comportamiento de las concentraciones registradas del polen de *Casuarina* en las diferentes ciudades de la Península Ibérica, Trigo *et al.* (1999) observaron que la ciudad de Málaga está considerada como la localidad donde se detectan los índices polínicos más altos. De hecho, el valor medio del IPA durante los años estudiados (1992-2015) de 653. Esto es debido a la buena adaptación de la especie al clima mediterráneo de esta localidad, siendo frecuente su uso como árbol ornamental.

En cuando a la evolución del polen de *Casuarina* en la atmósfera de Málaga, se ha observado una tendencia a la disminución significativa de las concentraciones de polen. Si nos fijamos en los índices polínicos anuales, podemos apreciar un descanso marcado a partir del año 2001 (Fig. 4.18). Así, este comportamiento podría estar relacionado al cambio de la localización del captador, cuya primera ubicación (Facultad de Medicina) fue en una zona cercana a donde existían algunos ejemplares de *Casuarina* plantados, mientras que la segunda posición (a partir del año 2001), se encuentra en un sitio (Facultad de Ciencias) alejado algo más de 200 m de los ejemplares anteriormente mencionados.

Aunque algunos autores (García González *et al.*, 1997) destacan el hecho de que los parámetros meteorológicos como las temperaturas, horas de sol y precipitaciones acumuladas determinan en gran medida las fluctuaciones de los niveles de polen de *Casuarina*, resulta evidente que la ubicación de los captadores de polen también es determinante en lo que a la detección de polen aerovagante se refiere.

En cuando al análisis de los parámetros del periodo de polinación principal (PPP), se observa que el polen de *Casuarina* presentó una tendencia al adelanto en el inicio del PPP, así como a un retraso significativo en el final del PPP. Este hecho, implica un alargamiento de la estación polínica de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga, con valores del coeficiente de determinación estadísticamente significativos (Fig. 4.20). Este comportamiento, en lo que se refiere al inicio, puede ser relacionado con las temperaturas ya que se ha detectado un incremento significativo de este parámetro en nuestra área, en general, pero también de manera específica en los meses de septiembre y octubre, así como durante el periodo prestacional de la floración de *Casuarina*. Por otra parte, a pesar de tratarse de un taxón otoñal con un periodo post-pico muy alargado, cuya media fue de 75 días (Tabla 4.12), parece que las lluvias que ocurren durante este periodo, es decir durante los meses de noviembre y diciembre ejercen un efecto positivo sobre las concentraciones de polen de *Casuarina*, a pesar de no haberse obtenido correlaciones significativas con este parámetro, debido a la escasez de datos.

Por otra parte, las fechas del día pico muestra una tendencia al retraso, así como un descenso de las concentraciones máximas obtenidas para tal día, a pesar de la tendencia al adelanto observada para el inicio del PPP y originada probablemente a los aumentos de las

temperaturas como se comentó anteriormente. Sin embargo, García *et al.* (1997) explicaron que el inicio de la floración de *Casuarina* está determinado por las primeras lluvias otoñales, mientras que el pico máximo se detecta justo durante los días soleados que siguen esas precipitaciones.

En relación con la dinámica intradiaria, el polen de *Casuarina* presenta un comportamiento bastante estable, con un patrón que se repite a lo largo de los años estudiados, registrándose las mayores concentraciones hacia las horas centrales del día (Fig. 4.26), al igual de que fue observado en Córdoba por Galán *et al.* (1991). Sin embargo, a pesar de esto, se aprecia que los valores de los índices de distribución intradiaria sufren variaciones destacables. Así, durante el periodo 1992-2000 se obtuvieron valores más altos que los correspondientes a los años 2001-2015, probablemente debido también al cambio en la ubicación del captador, lo cual nos lleva de nuevo a valorar la importancia de la situación de los muestreadores de polen.

Respecto a las correlaciones obtenidas entre las concentraciones medias diarias y los parámetros meteorológicos, se observa que las variables que ejercen una mayor influencia sobre los niveles de polen de *Casuarina* fueron las temperaturas, sobre todo en el periodo post-pico. Este hecho podría ser relacionado con la época de floración de este taxón, es decir, por el hecho de tratarse de un taxón otoñal, época en que las temperaturas tienden a bajar, lo que hace que sólo se obtengan correlaciones significativas durante el periodo post-pico. Por otra parte, una característica muy marcada en esta localidad, es la que a la dirección del viento se refiere, ya que como se ha observado en otros tipos polínicos, el viento del segundo cuadrante, procedente del mar, juega un papel importante a la disminución de los niveles de polen de *Casuarina* en la atmósfera, mientras la correlación positiva con el viento del cuarto cuadrante, muestra un incremento de las concentraciones de polen cuando el viento procede de zonas interiores, precisamente de la dirección donde se encuentra plantado un bosque de casuarinas de origen ornamental. En cuanto al parámetro velocidad media del viento, se esperaba obtener coeficientes de correlación positivas, ya que es la variable más influyente en la dispersión de los granos de polen, sin embargo, se ha visto que esta variable presentó una correlación de signo negativo, lo que sugiere que la dirección de los vientos, con dos cuadrantes predominantes en Málaga, tiene mayor influencia sobre los niveles de polen de *Casuarina*. Esto coincide con lo observado por García *et al.* (1997) en esta misma localidad. De hecho, la velocidad del viento de levante, procedente del mar y que hace disminuir las concentraciones, suele ser la más intensa.

Los resultados obtenidos del análisis de regresión múltiple por pasos indican que las variables meteorológicas temperatura máxima y calma, conjuntamente, fueron las elegidas para predecir las concentraciones diarias de polen de *Casuarina* durante el periodo pre-pico y, aunque presentan un valor de coeficiente de determinación muy bajo, los modelos fueron significativos (Tabla 4.18). Sin embargo, en el siguiente paso, al incorporar además de las 12 variables meteorológicas, las variables concentraciones del día anterior y concentración media para ese día, a partir de los datos de los años previos (D-media), la fiabilidad de los modelos aumenta considerablemente, llegando a alcanzar el valor más alto del coeficiente de determinación al utilizar en la ecuación de regresión, la concentración del día previo, la temperatura máxima, la D-media y el viento del segundo cuadrante, aunque podemos considerar que el coeficiente de determinación fue todavía bajo, todos los modelos fueron significativos (Tabla 4.19).

En lo que se refiere a la validación del mejor modelo de pronóstico obtenido, se observó que el modelo 4b generó buenas predicciones (Tabla 4.20), indicando una estrecha asociación entre los datos estimados y observados durante el periodo de pre-pico 2015-2016, tanto mediante la prueba de *Spearman* como con la de *Wilcoxon*, lo cual indica que no existen diferencias significativas entre los rangos de los datos comparados. Por lo tanto, consideramos que dicho modelo se muestra adecuado para predecir las concentraciones medias diarias del polen de *Casuarina* durante el periodo pre-pico.

Con respecto a la evolución de los días con diferentes niveles caracterizándose este tipo polínico, se observó que existe una tendencia al aumento de días con concentraciones comprendidas entre 1 y 30 granos de polen/m<sup>3</sup> mientras que se aprecia un descenso en cuanto a los días con concentraciones superiores a los 50 granos de polen/m<sup>3</sup>, siendo estadísticamente significativos en ambos casos (Fig. 4.19). De hecho, esto puede servir como información complementaria para las personas que presentan síntomas de alergias ya que el polen de *Casuarina* ha sido citado como aerovagante en numerosas zonas en el mundo como Estados Unidos (Moncada *et al.*, 1989; Hurtado & Alson, 1990; Bucholtz *et al.*, 1991), Argentina (Majas *et al.*, 1992) y también en localidades del Mediterráneo (Belmonte *et al.*, 1991; González *et al.*, 1993; Cabezudo *et al.*, 1994) y su alergenicidad ha sido puesta de manifiesto por diferentes autores (Zivitz, 1942; Bucholtz *et al.*, 1987; Aghashe *et al.*, 1994; García González *et al.*, 1997).

### 4.3.2. Tipo polínico Chenopodiaceae-Amaranthaceae

Dentro de este tipo polínico se incluyen las especies pertenecientes a las familias Chenopodiaceae y Amaranthaceae (actualmente ambas incluidas en Amaranthaceae). Se trata de plantas bien representadas en la provincia de Málaga, con numerosas especies de los géneros *Arthrocnemum*, *Atriplex*, *Beta*, *Chenopodium*, *Halimione*, *Suaeda* y *Salsola* (Chenopodiaceae) y de los géneros *Achyranthes*, *Alternanthera* y *Amaranthus* (Amaranthaceae).



#### 4.3.2.1. Descripción botánica

Se trata de plantas herbáceas o arbustos, anuales o perennes. Las hojas son alternas u opuestas, simples, sin estipulas. Tallos erectos o postrados. Flores hermafroditas o unisexuales, que se agrupan en inflorescencias espiciformes, axilares o terminales. Perianto generalmente de 4-5 piezas sepaloideas. Los estambres, en número de 1 a 5, se disponen opuestos a los lóbulos del perianto. Gineceo con un ovario súpero, unilocular y rematado por 2 o 3 estigmas. Fruto de tipo aquenio o pixidio.

#### 4.3.2.2. Época de floración/polinización

Las especies de la familia Quenopodiaceas florecen principalmente en primavera y verano (abril-septiembre), mientras que las de Amaranthaceas lo hacen desde el verano hasta principio del invierno. La polinización es de tipo anemófila.

#### 4.3.2.3. Morfología polínica

Polen polipantoporado, apolar y radiosimétrico. Esferoidal. Tamaño pequeño a mediano, según la especie, en general, de 10-30  $\mu\text{m}$  de diámetro. Aberturas simples, de tipo poro, repartidas por toda la superficie del grano, dispuestas en número de 30-60, con un diámetro de 2 a 3  $\mu\text{m}$ . La exina es gruesa, de 2-3  $\mu\text{m}$ . Téctum completo, infratéctum columelado, con columelas gruesas. La superficie es rugulada-escábrida o equinulada con espinas muy pequeñas y algunas perforaciones dispersas.

#### 4.3.2.4. Variación interanual

Este tipo polínico representó 4,20% del polen total de la atmósfera de Málaga durante los años estudiados, ocupando el quinto lugar en orden de abundancia. Los índices polínicos anuales han fluctuado entre los valores 710 (año 2015) y 2.541 (año 1993), registrándose un índice polínico anual medio de 1.425. Si analizamos los índices polínicos a lo largo de la serie de años, se observa que en la mayoría de ellos se detectaron niveles superiores a 1.000. Sin embargo, cabe destacar que en los años 1995, 1997, 2012, 2013, 2014 y 2015, se registraron índices polínicos inferiores al valor promedio (Tabla 4.21).

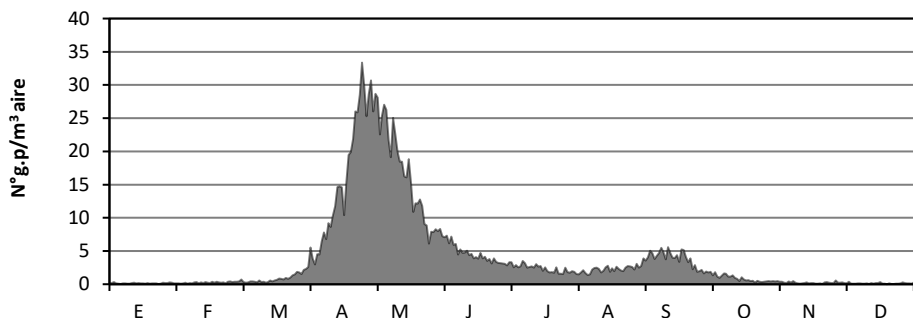


| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 1.507 | 6,81    | 18          |
| 1993  | 2.541 | 8,35    | 19          |
| 1994  | 1.695 | 6,22    | 17          |
| 1995  | 819   | 4,00    | 18          |
| 1996  | 2.087 | 4,89    | 18          |
| 1997  | 934   | 1,42    | 18          |
| 1998  | 1.539 | 4,49    | 17          |
| 1999  | 2.270 | 4,96    | 17          |
| 2000  | 1.621 | 4,98    | 16          |
| 2001  | 1.206 | 2,75    | 15          |
| 2002  | 1.335 | 4,28    | 17          |
| 2003  | 1.558 | 3,93    | 18          |
| 2004  | 1.494 | 5,93    | 19          |
| 2005  | 1.652 | 3,85    | 17          |
| 2006  | 1.301 | 4,80    | 17          |
| 2007  | 1.785 | 3,85    | 19          |
| 2008  | 1.285 | 4,01    | 18          |
| 2009  | 1.432 | 3,45    | 17          |
| 2010  | 1.721 | 4,23    | 18          |
| 2011  | 1.016 | 3,66    | 16          |
| 2012  | 941   | 3,20    | 17          |
| 2013  | 873   | 2,10    | 19          |
| 2014  | 876   | 2,14    | 17          |
| 2015  | 710   | 2,34    | 17          |
| Media | 1.425 | 4,20    | 17          |

**Tabla 4.21.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

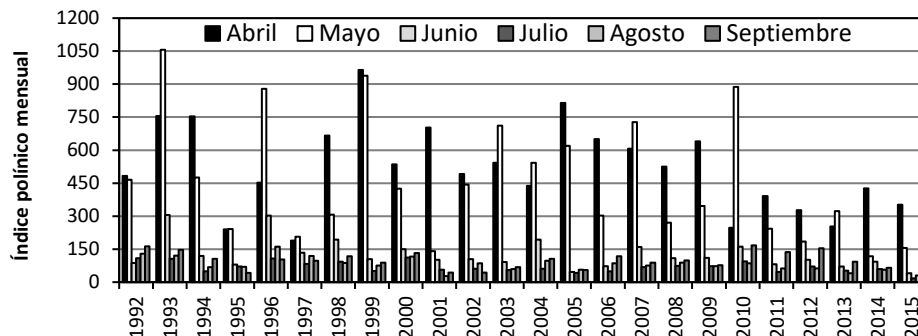
#### 4.3.2.5. Variación estacional

El patrón promedio de la distribución de las concentraciones medias diarias muestra que el tipo polínico Chenopodiaceae-Amaranthaceae se detecta en la atmósfera de Málaga durante un largo periodo de tiempo y además se caracteriza por la presencia de dos picos con diferentes intensidades (Fig. 4.28). Asimismo, los niveles de polen comienzan a incrementarse a partir de mediados de marzo, alcanzado las máximas concentraciones durante los meses de abril-mayo con un pico de la D-media de 33 g.p./m<sup>3</sup> de aire durante la segunda quincena de abril. Durante el verano (junio-julio-agosto) los niveles se mantienen más o menos elevados hasta el mes de septiembre que es cuando aparece el segundo pico, de menor intensidad, con un valor promedio de 6 g.p./m<sup>3</sup> de aire. Los niveles máximos del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae se detectan entre la semana 16 (años 2000, 2011) y la semana 19 (años 1993, 2004, 2007 y 2013), siendo entre las semanas 17 y las 18 cuando se detectan las concentraciones máximas (Tabla 4.20).



**Figura 4.28.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En lo que se refiere a la distribución mensual, durante los distintos años estudiados se observa que los niveles más altos se detectaron en los meses de abril y mayo, pero más frecuentemente durante el mes de abril (Fig. 4.29). El promedio de los índices polínicos mensuales fue de 519 para el mes de abril, oscilando entre 189 (año 1997) y los 965 (año 1999) y de 459 para el mes de mayo, con un mínimo de 117 (año 2014) y un máximo de 1.057 (año 1993). En septiembre, se obtuvo un valor promedio del índice polínico mensual de 98, con valores que oscilaron entre 39 (año 2015) y 167 (año 2010).



**Figura 4.29.** Índices polínicos mensuales obtenidos en abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre para el tipo polínico Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

La distribución de las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae fue estable durante los distintos años, con un periodo de polinación, aunque largo, bien definido, que comienza hacia el mes de abril y termina finales de septiembre. Los niveles diarios alcanzan frecuentemente los valores más elevados en los meses abril-mayo, al tiempo que el segundo pico observado, de menor intensidad, ocurre siempre en el mes de septiembre con concentraciones medias diarias que no llegan a superar los 23 g.p./m<sup>3</sup>. Durante los años 1995, 1997, 2004, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015, se obtuvieron niveles de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae inferiores a lo promediados. Los días picos se detectan casi siempre en el mes de abril con pico máximo histórico de 139 g.p./m<sup>3</sup> durante todo el periodo

estudiado obtenido en el año 1999. Cabe destacar que sólo en los años 1996, 1999 y 2010, 2011 y 2013 se obtuvieron los picos máximos en el mes de mayo. En cuando al mes de septiembre, se ha observado que las concentraciones medias diarias fueron inferiores al patrón promedio, sobre todo en los años 1995, 1999, 2001, 2002, 2005, 2009, 2014 y 2015 (Fig. 4.30).

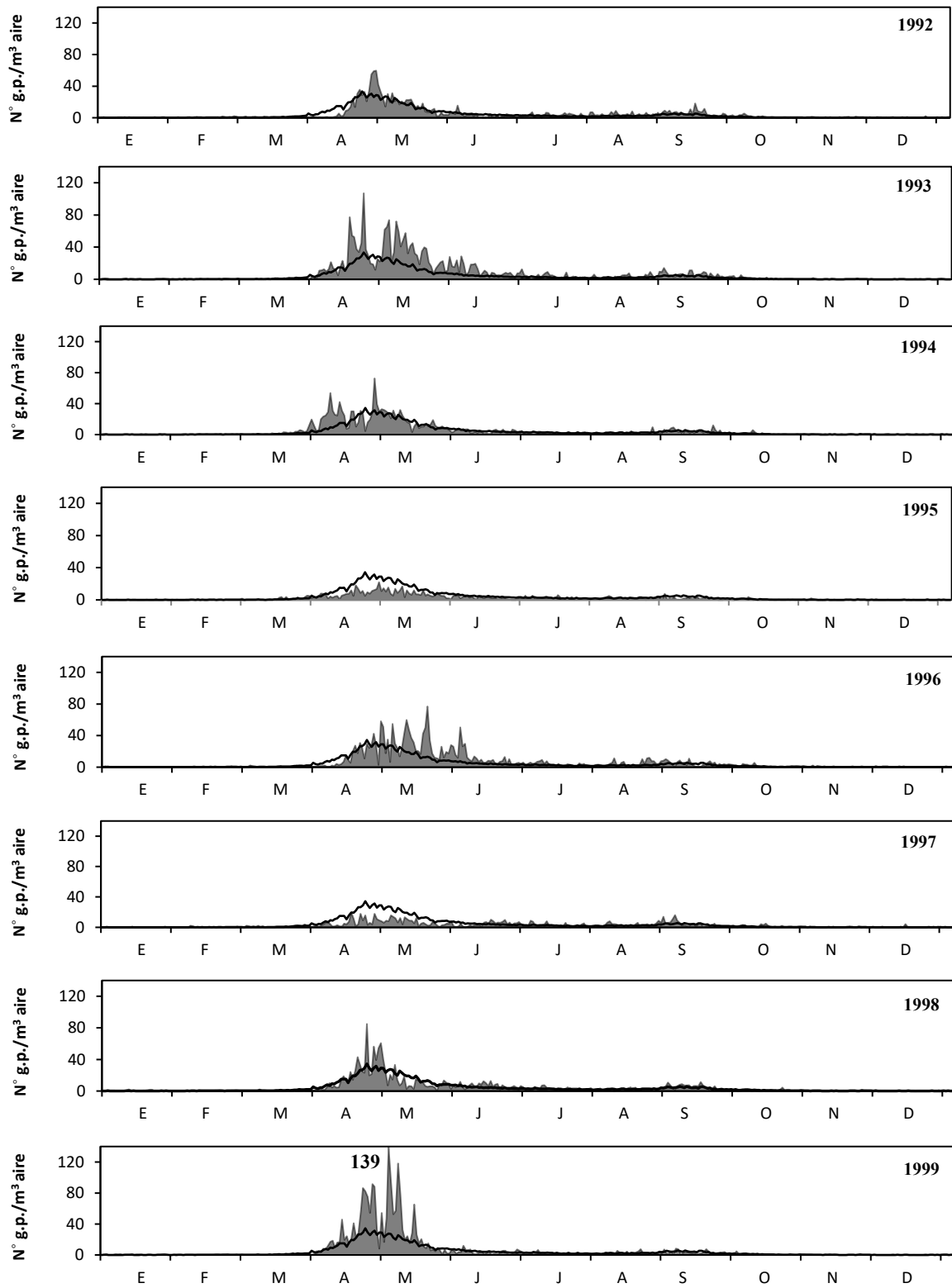
### 4.3.2.6. Periodo de Polinación Principal

La duración promedio del periodo de polinación principal del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae fue muy prolongada con 183 días, variando entre una duración mínima de 156 días obtenida en el año 2005 y una máxima, de 222 días registrado en el año 1997. Los índices polínicos alcanzados durante el PPP tuvieron un promedio de 1.357, fluctuando entre un mínimo de 678 (año 2015) y un máximo de 2.423 (año 1993). Cabe destacar que, durante los cinco últimos años, se observó un descenso de los totales anuales con un valor de 965 como registro máximo.

Durante el periodo 1992-2015, la fecha promedia de inicio del PPP fue el día 26 de marzo mientras el promedio del final de la estación se situó el día 26 de septiembre, pero si nos fijamos en cada año por separado, observamos que los registros de inicio más tempranos tuvieron lugar en los años 2000 (día el 07 de marzo) y 2015 (día el 02 de marzo). En cuanto al final del PPP, las fechas más tardías se registraron en los años 1997 (el día 26 de octubre) y en 2014 (el día 14 de octubre).

En lo que se refiere al día pico, se ha calculado el 25-04 como fecha promedio durante el que se detectó una media de 63 granos de polen/m<sup>3</sup>. El valor del pico máximo ha fluctuado un mínimo de 19 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 1997) y un máximo de 139 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 1999). Si bien los días picos se mantuvieron durante la segunda quincena del mes de abril en el conjunto de los años (1992-2015), con excepción de los años 1996 (19 de mayo), 1999 (03 de mayo), 2010 (02 de mayo) y 2013 (10 de mayo).

La duración del periodo post-pico del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae fue más larga, con un promedio de 152 días, mientras que el pre-pico tuvo una duración media de 30 días. La producción polínica media (índice polínico) ha sido de 402 durante el pre-pico mientras un valor promedio de 955 durante el periodo post-pico. Los índices polínicos detectado durante el pre-pico fueron superiores a 1.000 en los años 1996 y 1999 mientras el índice más bajo se detectó en el año 1997 con un valor total de 74. Durante el post-pico, los índices polínicos fueron más altos, con un índice máximo de 1.969 (año 1993) y un mínimo de 425 (año 2015) (Tabla 4.22).



**Figura 4.30.** Concentraciones medias diarias de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

## Resultados

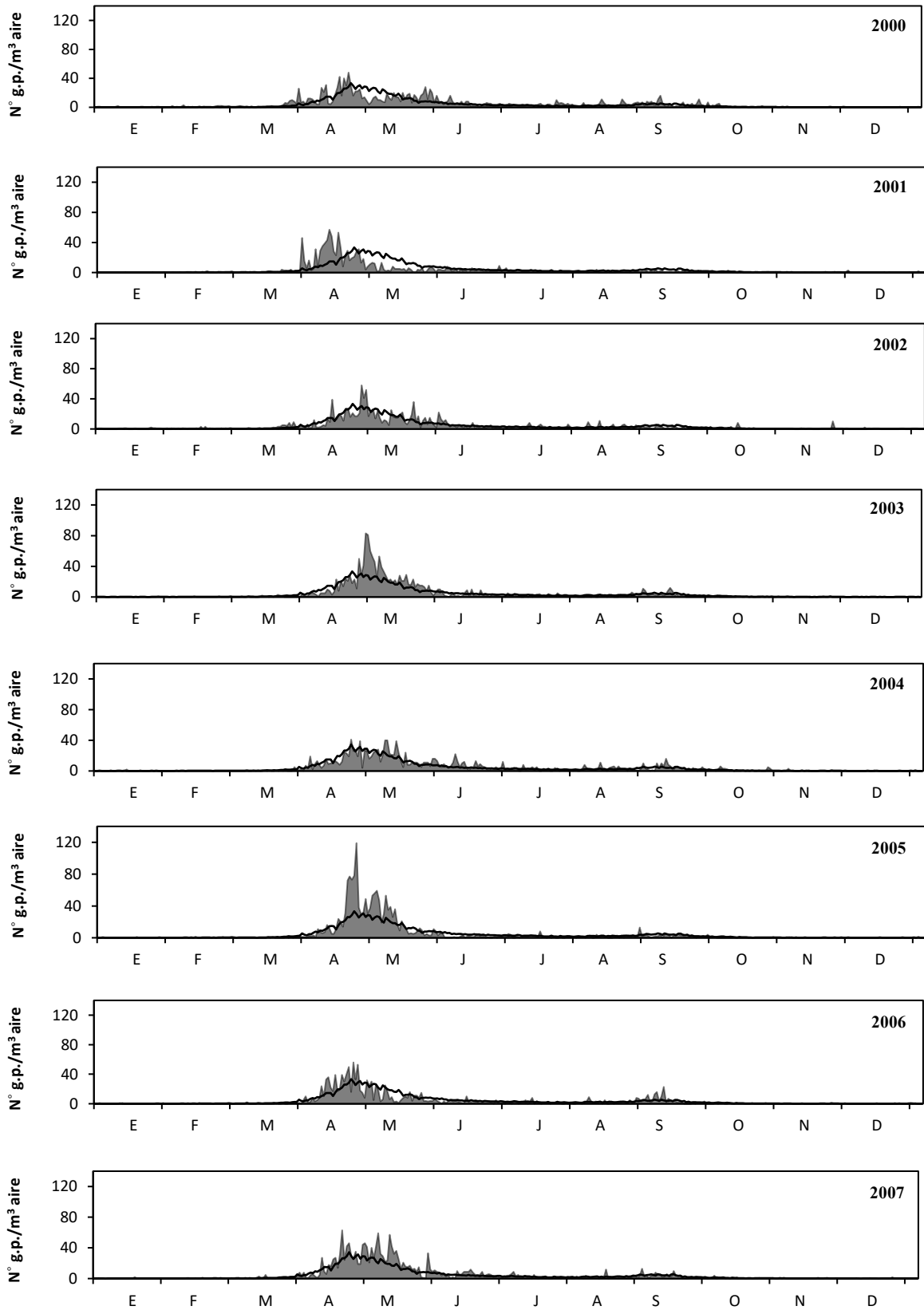


Figura 4.30. Continuación.

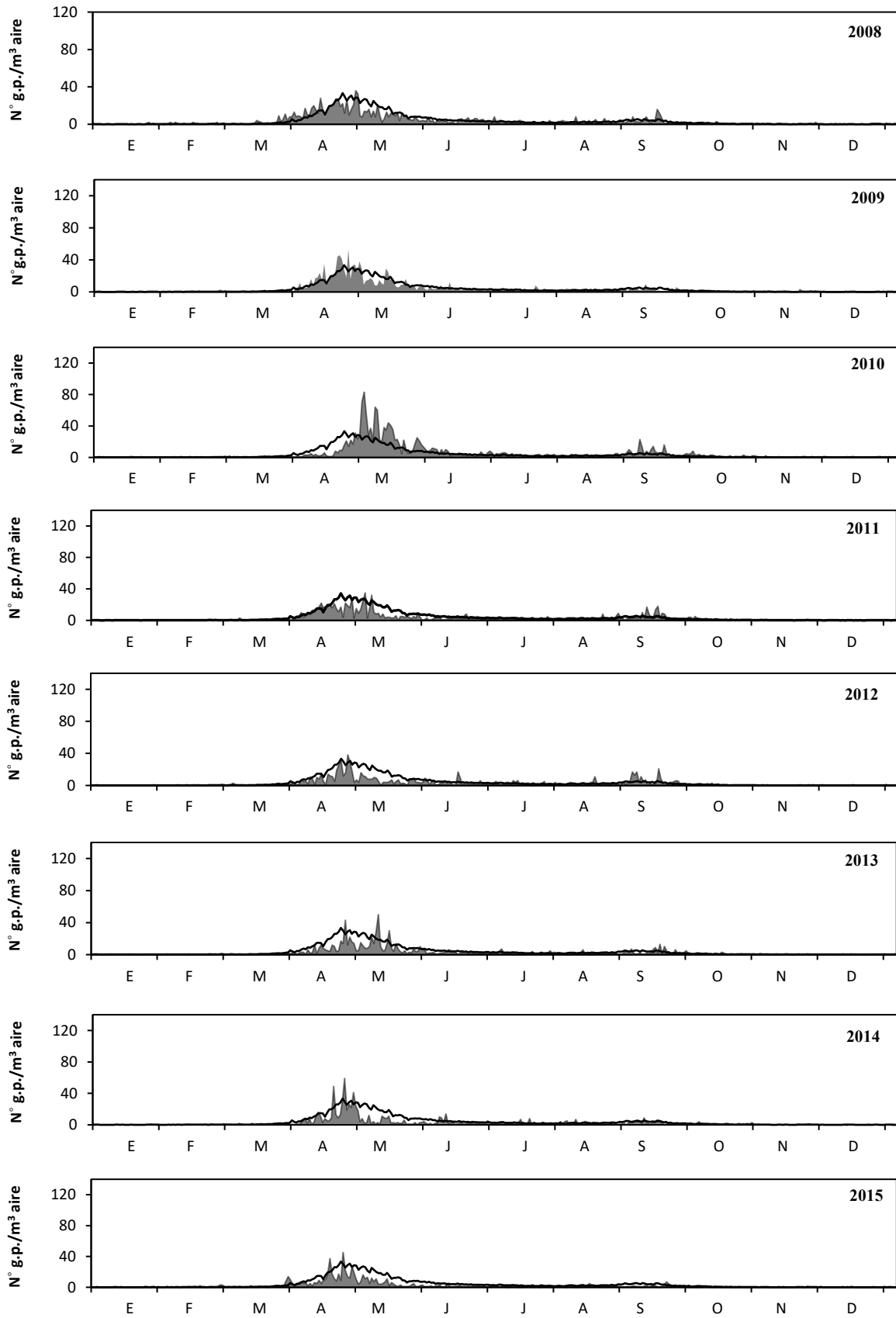


Figura 4.30. Continuación.

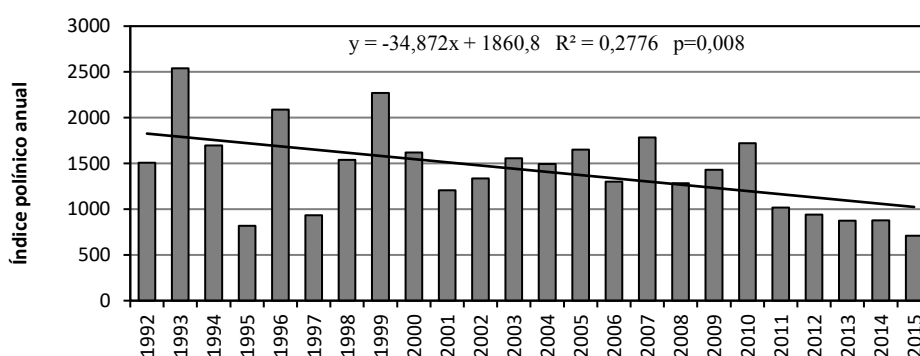
| Año       | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992      | 12-04 (103)/03-10 (277) | 176      | 1.438         | 29-04 (120)     | 60                                     | 17       | 376           | 159       | 1.062         |
| 1993      | 06-04 (97)/19-09 (263)  | 168      | 2.423         | 23-04 (114)     | 107                                    | 17       | 454           | 151       | 1.969         |
| 1994      | 26-03 (86)/25-09 (269)  | 185      | 1.614         | 27-04 (118)     | 73                                     | 32       | 629           | 153       | 985           |
| 1995      | 18-03 (78)/05-10 (279)  | 202      | 783           | 29-04 (120)     | 22                                     | 42       | 240           | 160       | 543           |
| 1996      | 13-04 (104)/03-10 (277) | 175      | 1.994         | 19-05 (140)     | 77                                     | 36       | 1.006         | 139       | 988           |
| 1997      | 20-03 (80)/26-10 (300)  | 222      | 888           | 17-04 (108)     | 19                                     | 28       | 74            | 194       | 814           |
| 1998      | 04-04 (95)/03-10 (277)  | 184      | 1.463         | 23-04 (114)     | 85                                     | 19       | 284           | 165       | 1.179         |
| 1999      | 06-04 (97)/15-09 (259)  | 164      | 2.159         | 03-05 (124)     | 139                                    | 27       | 1.006         | 137       | 1.153         |
| 2000      | 07-03 (67)/24-09 (268)  | 203      | 1.541         | 22-04 (113)     | 48                                     | 46       | 425           | 157       | 1.116         |
| 2001      | 20-03 (80)/05-10 (279)  | 201      | 1.146         | 12-04 (103)     | 57                                     | 23       | 297           | 178       | 849           |
| 2002      | 22-03 (82)/21-09 (265)  | 185      | 1.271         | 27-04 (118)     | 58                                     | 36       | 371           | 149       | 900           |
| 2003      | 05-04 (96)/10-09 (254)  | 160      | 1.483         | 29-04 (120)     | 83                                     | 24       | 369           | 136       | 1.114         |
| 2004      | 04-04 (95)/29-09 (273)  | 180      | 1.428         | 23-04 (114)     | 41                                     | 19       | 220           | 161       | 1.208         |
| 2005      | 08-04 (99)/08-09 (253)  | 156      | 1.577         | 24-04 (116)     | 119                                    | 17       | 458           | 139       | 1.119         |
| 2006      | 05-04 (96)/11-09 (255)  | 161      | 1.239         | 24-04 (115)     | 56                                     | 19       | 418           | 142       | 821           |
| 2007      | 01-04 (92)/15-09 (259)  | 169      | 1.704         | 20-04 (111)     | 63                                     | 19       | 215           | 150       | 1.489         |
| 2008      | 21-03 (81)/05-10 (279)  | 200      | 1.222         | 29-04 (120)     | 36                                     | 39       | 507           | 161       | 715           |
| 2009      | 12-03 (72)/10-10 (284)  | 214      | 1.362         | 25-04 (116)     | 53                                     | 44       | 473           | 170       | 889           |
| 2010      | 09-04 (100)/06-10 (280) | 182      | 1.638         | 02-05 (123)     | 83                                     | 23       | 302           | 159       | 1.336         |
| 2011      | 24-03 (84)/30-09 (274)  | 192      | 965           | 04-05 (125)     | 35                                     | 41       | 444           | 151       | 521           |
| 2012      | 31-03 (91)/22-09 (266)  | 177      | 895           | 26-04 (117)     | 38                                     | 26       | 234           | 151       | 661           |
| 2013      | 01-04 (92)/28-09 (272)  | 182      | 831           | 10-05 (131)     | 50                                     | 39       | 375           | 143       | 456           |
| 2014      | 29-03 (89)/14-10 (288)  | 201      | 835           | 24-04 (114)     | 59                                     | 26       | 220           | 175       | 615           |
| 2015      | 02-03 (61)/21-09 (264)  | 205      | 678           | 25-04 (115)     | 45                                     | 54       | 253           | 151       | 425           |
| 1992-2015 | 26-03 (85) /26-09 (269) | 183      | 1.357         | 25-04 (115)     | 63                                     | 30       | 402           | 152       | 955           |

Tabla 4.22. Indicadores del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).

#### 4.3.2.7. Estudio de tendencias

##### ▪ Índice polínico anual

Durante el periodo estudiado (1992-2015), se puede observar que el valor del índice polínico anual de los registros obtenidos para el polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga, muestra una tendencia significativa al descenso ( $R^2=0,2776$ ,  $p=0,008$ ). Por otra parte, los resultados del análisis de la evolución del comportamiento de este tipo polínico, utilizando la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall*, coincide con los resultados de la regresión lineal ( $Z=-0,362$ ,  $p=0,013$ ) (Tabla 4.23). La tendencia significativa a la disminución de los niveles de este tipo polínico viene, así mismo, explicada por el cálculo de la pendiente de *Sen*, que arroja un valor igual a  $-41,17$  (Fig. 4.31).



**Figura 4.31.** Evolución del índice polínico anual del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,362            | 0,013 | -41,17           |

**Tabla 4.23.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

##### ▪ Niveles del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae

Se ha analizado la dinámica del número de días que presentan diferentes niveles de concentración de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en el aire, teniendo en cuenta el criterio de la categoría del grupo 2 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007). En la tabla 4.24, se observa que los días con concentraciones nulas ( $<1$  granos de polen/ $m^3$ ) presentan un promedio de 163 días ( $\pm 24$ ) oscilando entre un mínimo de 202 días (año 2005) y un máximo de 103 días (año 2009). Por otra parte, el número de días con concentraciones medias diarias comprendidas entre 1-25 granos de polen/ $m^3$  aire, ha sido más alto, con un valor promedio de 190 ( $\pm 26$ ), variando entre un mínimo de 141 días (año 2005) y un máximo de 249 días (año 2009). El número de días



en que se detectan concentraciones comprendidas entre los 26-50 granos de polen/m<sup>3</sup> aire fue muy bajo, con un promedio de 9 días y solamente con un máximo de 20 días registrado en el año 1997, lo que explica el elevado porcentaje altos del coeficiente de variación con (64%). Del mismo modo, en lo que se refiere a los números de días con concentraciones altas (>50 granos de polen/m<sup>3</sup>), se ha observado un promedio de 3 días ( $\pm 6$ ), presentando un máximo de 15 días (año 1999) pero un mínimo con ausencia de días, justificando así el valor obtenido del coeficiente de variación que alcanza los 129%.

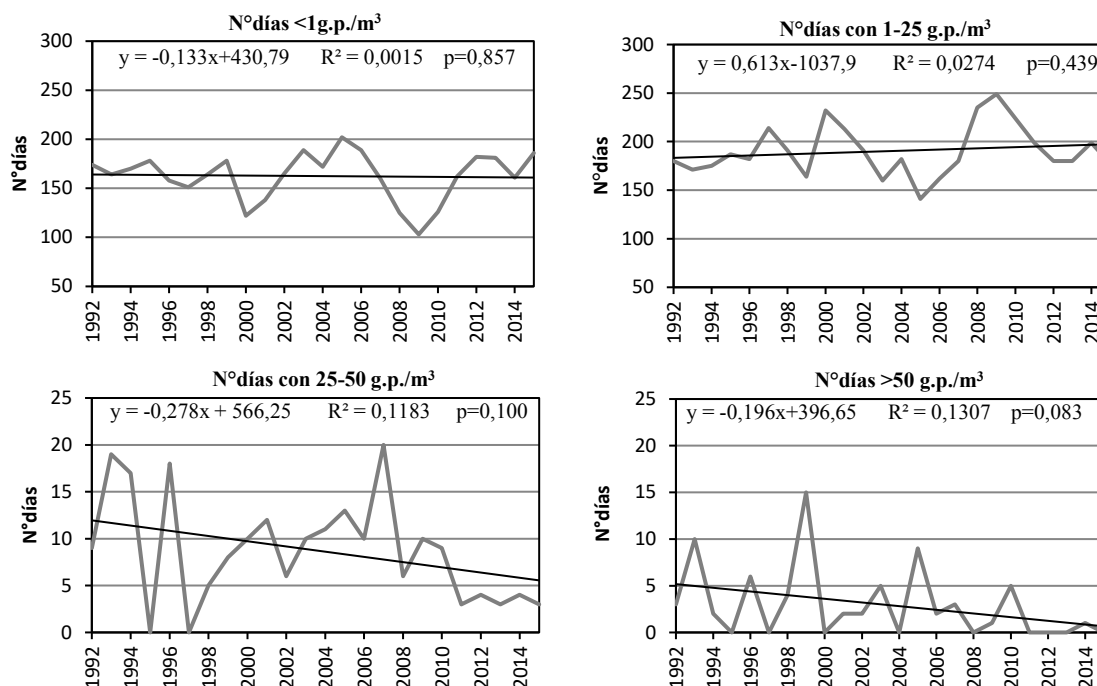
| Niveles                           | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>    | 103    | 202    | 163   | 24           | 14,7   |
| Nº días 1-25 g.p./m <sup>3</sup>  | 141    | 249    | 190   | 26           | 13,5   |
| Nº días 26-50 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 20     | 9     | 6            | 64     |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 15     | 3     | 4            | 129    |

**Tabla 4.24.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

La prueba de *Mann-kendall*, al igual que el estudio de regresión, nos indica que no existe ninguna tendencia significativa en los números de días con diferentes niveles de concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado. Asimismo, se observa una tendencia positiva en los niveles nulos y bajos, mientras que una tendencia negativa en los niveles moderados y altos. Hay que señalar que los resultados obtenidos mediante la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* no coinciden con el de la regresión lineal en cuando al signo de la tendencia para el número de días sin granos de polen (Fig. 4.32, Tabla 4.25).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                |
| Nº días <1g.p./m <sup>3</sup>      | 0,033             | 0,843 | 0,16             |
| Nº días 1-25 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,085             | 0,584 | 0,41             |
| Nº días 26-50 g.p./m <sup>3</sup>  | -0,249            | 0,100 | -0,33            |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>    | -0,297            | 0,058 | -0,11            |

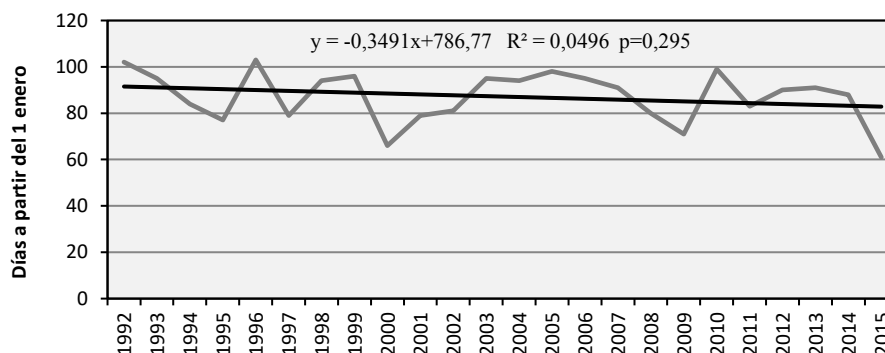
**Tabla 4.25.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.32.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

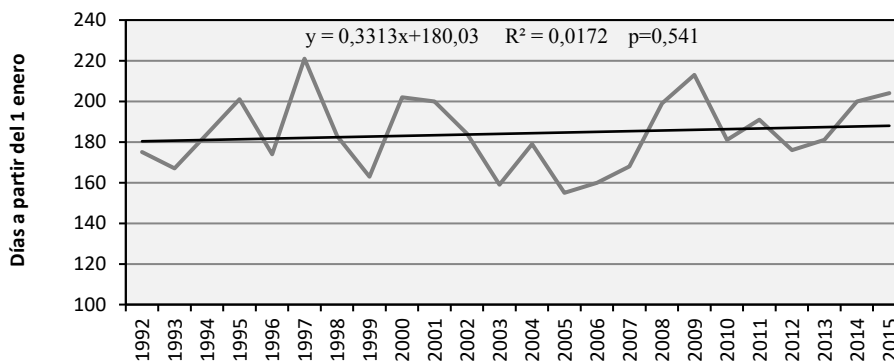
#### ▪ Parámetros del PPP

Se observa que, a lo largo del periodo estudiado (1992-2015), el tipo polínico Chenopodiaceae-Amaranthaceae presenta en la atmósfera de Málaga, fluctuaciones interanuales en lo que a **la duración del periodo de polinación principal (PPP)** se refiere, con un promedio de 184 días ( $\pm 17$ ). Tanto la recta de regresión como el test de *Mann-Kendall*, muestran una tendencia de positiva, aunque estadísticamente no significativa, al alargamiento de la duración del PPP de este tipo polínico ( $Z=0,098$ ;  $Q=0,51$ ). La pendiente de *Sen* muestra un valor de signo positivo igual a 0,33 (Fig. 4.33, Tabla 4.26).



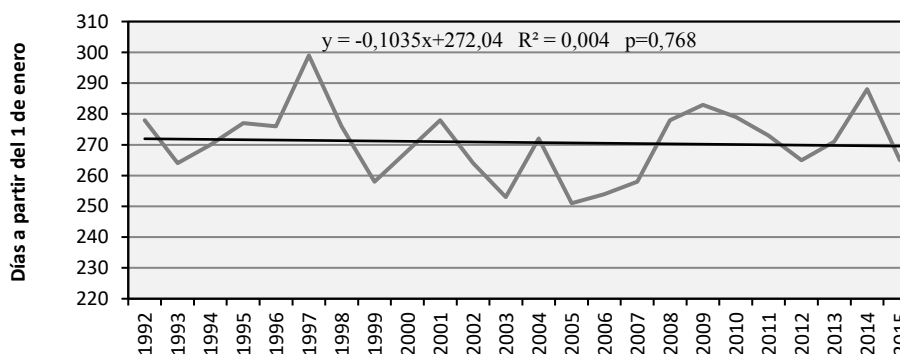
**Figura 4.33.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Asimismo, se puede ver que existen variaciones en el comienzo de la estación polínica de Chenopodiaceae-Amaranthaceae con un coeficiente de variación del 13%. La fecha de inicio de PPP de este tipo polínico muestra una tendencia negativa, aunque no significativa, a lo largo de los años estudiados ( $Z=-0,161$ ;  $p=0,285$ ) (Fig. 4.34). La pendiente de *Sen* presentó un valor negativo igual a  $-0,21$  (Tabla 4.26).



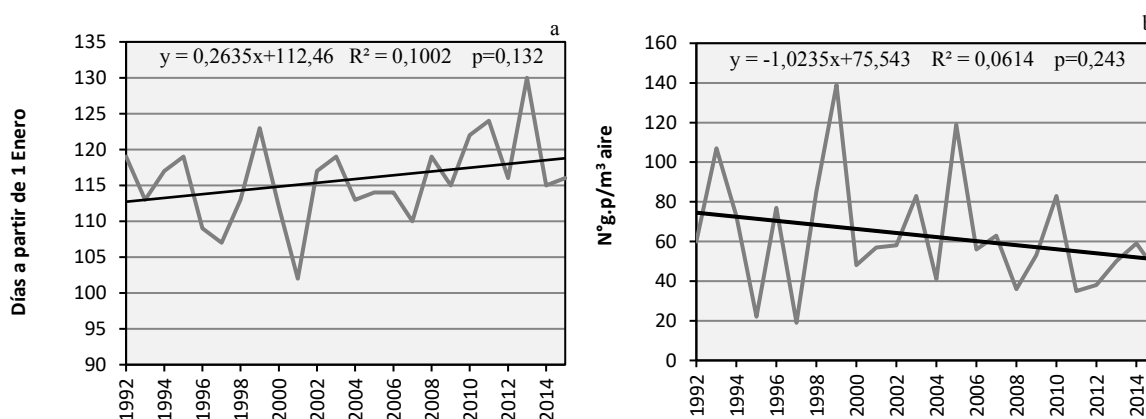
**Figura 4.34.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En relación con los resultados del análisis de las fechas en que se produce el final del PPP (Tabla 4.25), se observa una muy ligera tendencia a adelantarse a lo largo del periodo estudiado, pero si nos fijamos el valor de coeficiente de regresión, observamos que éste es casi nulo ( $R^2=0,004$ ), con lo cual viene es difícil definir un patrón exacto para este parámetro en la atmósfera de Málaga durante los años 1992-2015 (Fig.4.35).



**Figura 4.35.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En cuanto a la fecha en que se detecta el **día pico**, a través del análisis de regresión, así como del test de *Mann-Kendall*, se observa una tendencia positiva pero estadísticamente no significativa ( $Z=0,219$ ,  $p=0,218$ ), lo que indica un paulatino retraso a lo largo del periodo de estudio, al mismo tiempo que aparece una tendencia negativa, aunque igualmente no significativa, en referencia a la concentración alcanzada durante el día pico, lo que indica una cierta tendencia a disminución de los valores máximos registrados durante 24 años de estudio. En cualquier caso, se observa que existen grandes variaciones interanuales en cuanto a las fechas del día pico y los valores máximos diarios alcanzados por este tipo polínico, con un coeficiente de variación del 45% (Fig. 4.36, Tabla 4.26).



**Figura 4.36.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Parámetros          | <i>Mann-Kendall</i> Test |             | Pendiente de <i>Sen</i> |
|---------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|
|                     | <i>Z</i>                 | <i>Sig.</i> | <i>Q</i>                |
| <b>Inicio PPP</b>   | -0,161                   | 0,285       | -0,21                   |
| <b>Final PPP</b>    | -0,011                   | 0,960       | 0                       |
| <b>Duración PPP</b> | 0,098                    | 0,519       | 0,33                    |
| <b>Día pico</b>     | 0,219                    | 0,148       | 0,21                    |
| <b>Valor pico</b>   | -0,192                   | 0,197       | -0,92                   |

**Tabla 4.26.** Resumen de los resultados del análisis del test de *Mann-Kendall* y la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.2.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

El análisis de las correlaciones puso de manifiesto un efecto negativo de las temperaturas (máximas, medias, mínimas) con las concentraciones medias diarias de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae durante el PPP. Igualmente se han obtenido coeficientes de correlación negativos y significativos con la humedad relativa, el porcentaje de vientos del primer y segundo cuadrante y con las calmas.

Sin embargo, con la precipitación aparecieron correlaciones significativas y positivas, así como con la velocidad media y los vientos procedentes del cuarto cuadrante. No se obtuvieron coeficientes de correlación significativos con las horas de sol ni con el porcentaje de viento del tercer cuadrante.

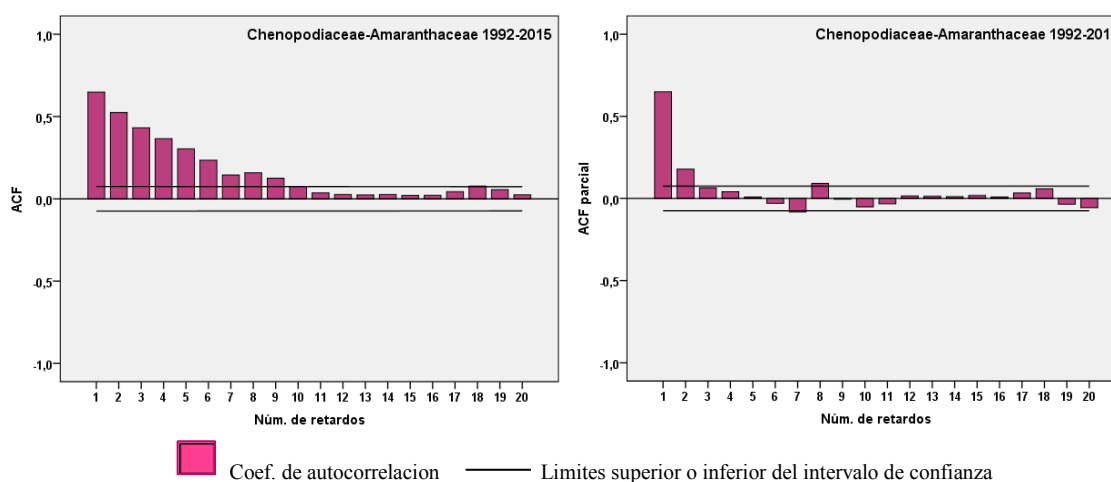
A separar los periodos pre- y post-pico, aparecieron correlaciones positivas y significativas con las temperaturas durante el pre-pico, mientras que se mantuvieron con signo negativo durante el post-pico, al igual que se observó en la mayoría de los casos de otros tipos polínicos estudiados. Con la humedad relativa, las calmas, el viento del segundo cuadrante y del cuarto cuadrante, se observaron durante el pre-pico resultados similares a los obtenidos durante el PPP, mostrando correlaciones significativas y negativas. Con respecto al periodo post-pico, se observaron correlaciones significativas y positivas con las precipitaciones, las horas de sol y la velocidad media del viento, mientras se obtuvo un coeficiente de correlación significativo y negativo con el viento de primer cuadrante. Por otra parte, se mantiene el comportamiento general observado con las temperaturas, la humedad relativa, el viento del segundo cuadrante y las calmas, con coeficientes de correlación significativos y de signo negativo, mientras se obtuvieron coeficientes significativos, pero de signo positivo el viento del cuarto cuadrante (Tabla 4.27).

|                          | PPP<br>N=4420 | Pre-pico<br>N=714 | Post-pico<br>N=3704 |
|--------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | 0,062**       | -0,050            | 0,049**             |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | -0,358**      | 0,298**           | -0,346**            |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | -0,417**      | 0,347***          | -0,379*             |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | -0,449***     | 0,211**           | -0,415**            |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,080**      | -0,143**          | -0,103**            |
| <b>Horas de Sol</b>      | 0,002         | 0,198             | 0,036*              |
| <b>V. med viento</b>     | 0,095**       | -0,047            | 0,063**             |
| <b>% Vto. 1°C.</b>       | -0,097**      | -0,021            | -0,095**            |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,224**      | -0,143**          | -0,205**            |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | 0,030         | 0,012             | 0,028               |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,227**       | 0,151**           | 0,210**             |
| <b>Calma</b>             | -0,132**      | -0,011**          | -0,130**            |

**Tabla 4.27.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .

#### 4.3.2.9. Análisis de autocorrelaciones

El estudio de las autocorrelaciones muestra que existen 10 retardos que registran coeficientes de correlación significativos, aunque se observa un descenso progresivo del valor de estos coeficientes a medida que nos alejamos de la fecha inicial (Fig. 4.37). Al realizar las autocorrelaciones parciales, el valor de los coeficientes disminuye y el número de retardos se redujo con coeficientes significativos se redujo a dos. En base a estos resultados, se optó por elegir la concentración del día anterior (n-1) para ser utilizada como variable independiente en el estudio de regresión debido a que este día presenta el mayor coeficiente de significación seguido de la concentración correspondiente a dos días antes.



**Figura 4.37.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.3.2.10. Modelos de pronóstico

Cuando se trata de explicar las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae durante el pre-pico, en función de los parámetros meteorológicos, el programa estadístico ofrece tres modelos significativos, tras incluir en cada paso una variable independiente, si bien los valores de los coeficientes de determinación fueron muy bajos. El primer modelo se corresponde con una regresión lineal simple que incluye la temperatura media como única variable independiente, mientras que los sucesivos modelos consiguen mejorar ligeramente el valor del coeficiente de determinación, al incluir el viento del cuarto cuadrante y la velocidad media del viento (Tabla 4.28).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos                               | R <sup>2</sup> | F     | p     |
|--------|--|----------------|-------|-------|
| 1a     | Chenop=2,026 T <sup>a</sup> med-19,953                                 | 0,102          | 80,06 | 0,000 |
| 2a     | Chenop= 1,892 T <sup>a</sup> med+0,056 Vto.4°C -20,565                 | 0,112          | 44,56 | 0,000 |
| 3a     | Chenop=1,913 T <sup>a</sup> med+0,069 Vto.4°C -0,332 Vel.med.vt-17,157 | 0,127          | 34,18 | 0,000 |

**Tabla 4.28.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).

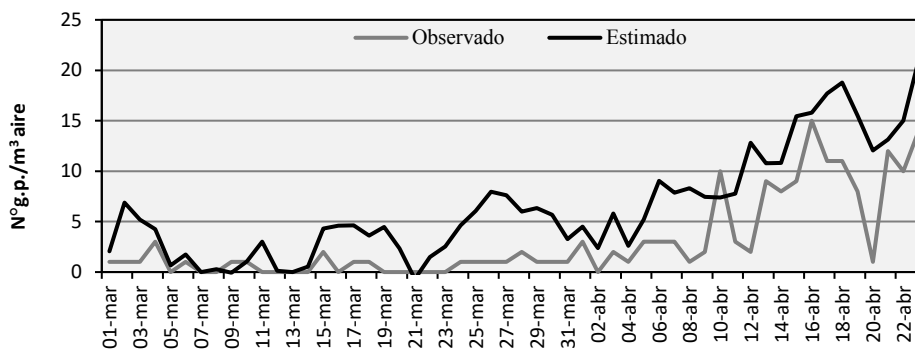
Cuando se incluye en el proceso de regresión múltiple por pasos, otras variables independientes tales como la concentración del día anterior y la D-media, se obtuvieron otros 5 modelos significativos y con mucho mejor ajuste (Tabla 4.29). En el primer paso, se incluye la concentración del día anterior, obteniéndose un coeficiente de determinación de 0,391. En el segundo modelo, además de la variable concentración del día anterior, se ha incluido la temperatura media, apreciándose un aumento del valor de  $R^2$  (0,428). En los modelos siguientes, se obtuvieron incrementos significativos del coeficiente de determinación, obteniéndose el mejor modelo para las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae durante el pre-pico en el periodo completo (1992-2015), cuando se incluyeron como variables independientes la concentración del día anterior, la temperatura media, la D-media, la precipitación y la velocidad media del viento, este último presentándose un valor de  $R^2$  de 0,447.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos  | R <sup>2</sup> | F      | p     |
|--------|---|----------------|--------|-------|
| 1b     | Chen=0,656 Chen <sub>t-1</sub> +5,306   | 0,391          | 371,14 | 0,000 |
| 2b     | Chen=0,613 Chen <sub>t-1</sub> +1,256 T <sup>a</sup> med-14,933   | 0,428          | 244,34 | 0,000 |
| 3b     | Chen=0,547 Chen <sub>t-1</sub> +1,237 T <sup>a</sup> med+0,162 Dmed-15,950                                  | 0,435          | 175,12 | 0,001 |
| 4b     | Chen=0,547 Chen <sub>t-1</sub> +1,139 T <sup>a</sup> med+ 0,177 Dmed- 0,217 Precip-14,195                   | 0,441          | 135,15 | 0,004 |
| 5b     | Chen= 0,549 Chen <sub>t-1</sub> +1,178 T <sup>a</sup> med+0,165 Dmed-0,210 Precip-0,197 Vel. med. vt-12,103 | 0,447          | 110,60 | 0,000 |

**Tabla 4.29.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1992-2015).

▪ **Validación del mejor modelo**

En la figura 4.38, se representan los datos observados y estimados utilizando la ecuación de regresión lineal, altamente significativa ( $R^2=0,447$ ,  $p=0,000$ ), definida por el modelo 5b (Tabla 4.30). El valor del coeficiente de correlación de *Spearman* muestra la alta asociación entre los datos observados y estimados en cuando a las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae se refiere. En cambio, los resultados obtenidos de la prueba de *Wilcoxon* se muestran contradictorios, es decir, que arrojan diferencias significativas entre ambas series de datos comparados.



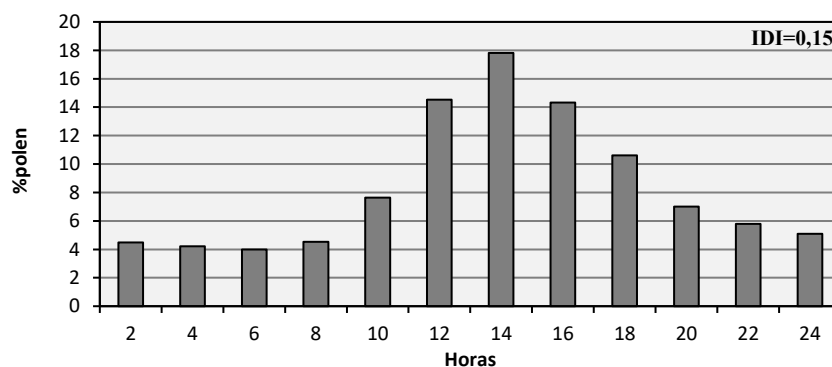
**Figura 4.38.** Concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-amaranthaceae durante el periodo pre-pico 2015-2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 5b de las ecuaciones de regresión.

|   | <i>Spearman Test</i> |       | <i>Wilcoxon Test</i> |         |        |       |
|---|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|   | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 5b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,807                | 0,000 | 26                   | 11      | -5,780 | 0,000 |

**Tabla 4.30.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2015-2016), utilizando el mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.2.11. Variación intradiaria

Durante los años estudiados, se observa que el patrón intradiario promedio de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae se caracterizó por un aumento de las concentraciones máximas a partir de las 08:00-10:00 horas, registrándose el pico máximo en torno de las 12:00-14:00 hora. Tras el pico máximo, las concentraciones disminuyen paulatinamente, pero mantienen niveles altos, con cerca del 14% del polen total diario, durante las horas de la tarde, para hacerse mínimas durante la madrugada. El pico máximo alcanzado supone los 18% del polen total diario. El promedio del índice de distribución intradiaria ha sido igual a  $0,15 \pm 0,05$  y un coeficiente variación (Cv) del 31% (Fig. 4.39).



**Figura 4.39.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).



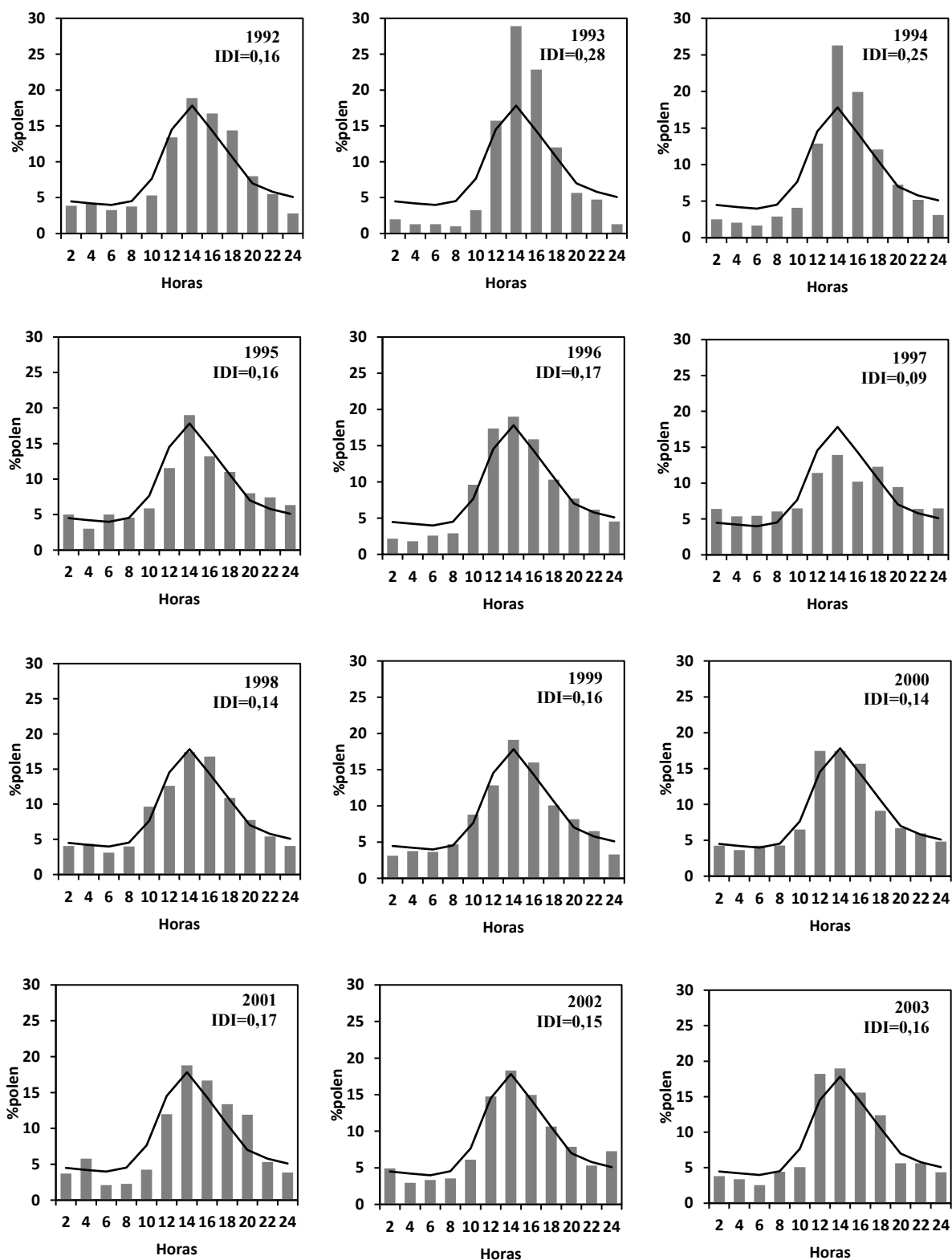


Figura 4.40. Variación del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

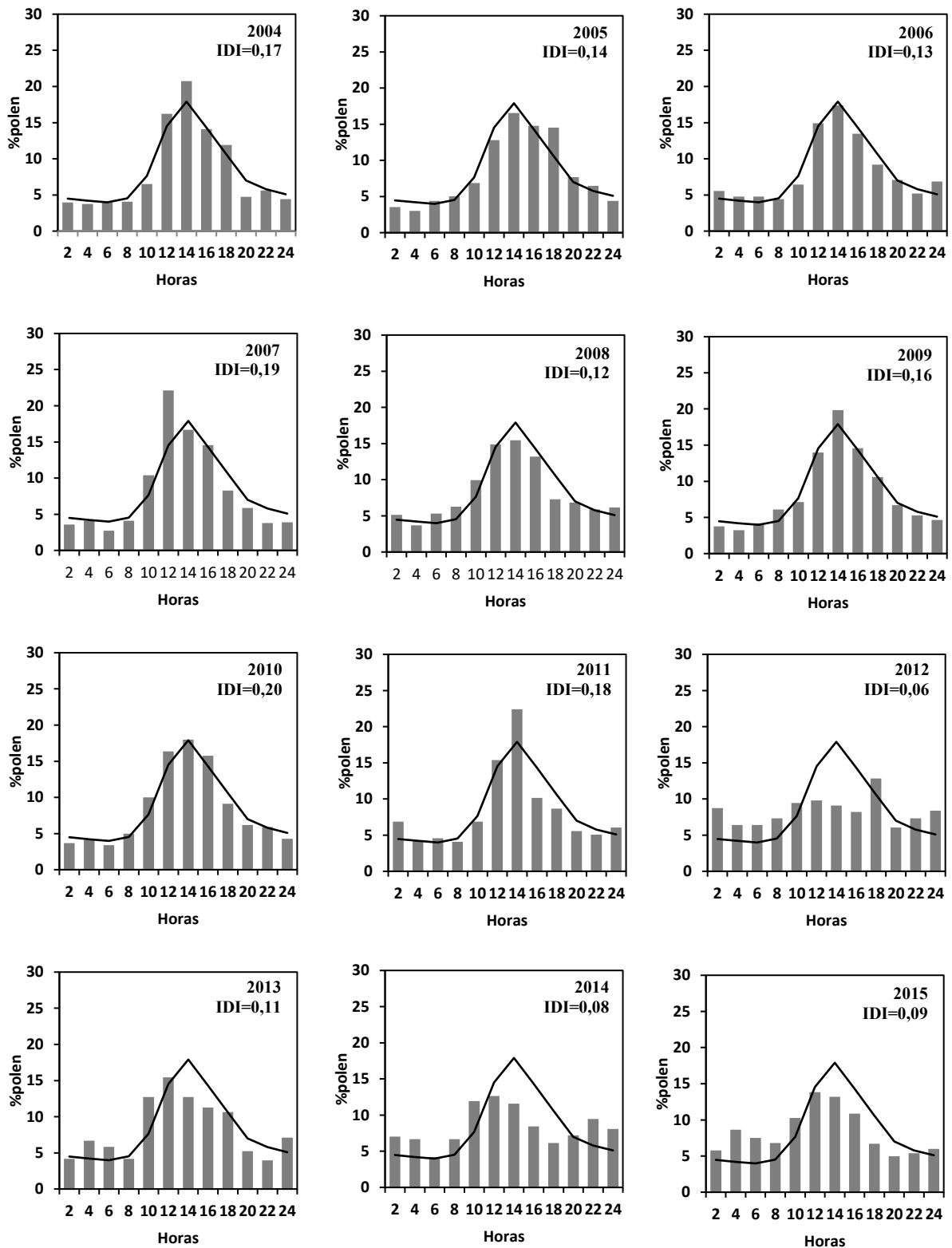


Figura 4.40. Continuación.



Durante los distintos años, las curvas de variación intradiaria presentaron un patrón similar al promediado con un comportamiento bastante estable con concentraciones máximas registradas en torno de 12:00-14:00 horas. Los valores del IDI calculados para el polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae fueron oscilando entre 0,06 (año 2012) y 0,28 (1993). El pico máximo registrado, se obtuvo en el año 1993 con un valor igual a 28,29% del polen diario mientras el pico más bajo se obtuvo en el año 2012 con un porcentaje igual al 9,09% (Fig. 4.40). Cabe mencionar que durante los años 2012, 2013, 2014 y 2015, patrones con una distribución intradiaria más homogénea con respecto a la de la curva promedio obtenida para el conjunto de los años.

### 4.3.2.12. Discusión

Las familias Chenopodiaceae y Amaranthaceae incluyen plantas herbáceas anuales muy extendidas en todo el mundo y constituyen el grupo más diverso de cariofilales, con alrededor de 180 géneros y unas 2.500 especies. Ambas familias, ahora reunidas en Amaranthaceae, comparten muchas características ya que, por una parte, son plantas resistentes a la sequía que prosperan bien en suelos salinos y, por otra parte, sus granos de polen presentan una morfología polínica similar (Trigo *et al.*, 2008), formando un grupo definido como estenopalino (Erdtman, 1966). Sus granos de polen están presentes en la atmósfera de muchas ciudades como de todo el mundo, ya sea en África (Njokuocha, 2006), América (Murray *et al.*, 2010; Caramuti *et al.*, 2014), Asia (Al-Dowaisan *et al.*, 2004; Erkan *et al.*, 2011; Hasnain *et al.*, 2016) o Europa (Weryszko-Chmielewska & Piotrowska, 2004; Cariñanos *et al.*, 2014; Elvira-Rendueles *et al.*, 2017).

Durante el periodo estudiado, el polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae ocupó la quinta posición por orden de abundancia en la atmósfera de Málaga, detectándose durante una buena parte del año, desde marzo hasta finales de octubre, ya que presenta un periodo de polinación muy largo, con una duración promedio de 183 días y un índice polínico anual de 1.357 (Tabla 4.22). Un comportamiento similar al observado en Málaga se aprecia en Córdoba, en donde la duración de PPP es de más de 6 meses (Cariñanos *et al.*, 2014). Esto podría ser relacionado con la sucesión y solapamiento de los periodos de floración de las diferentes especies pertenecientes a ambas familias. En un trabajo llevado a cabo en la misma localidad de Málaga, Recio *et al.* (1998b) comprobaron que los niveles registrados al principio de la primavera correspondieron fundamentalmente al polen de Chenopodiaceae, mientras que las amarantáceas contribuyeron al espectro polínico principalmente en la segunda mitad del periodo principal de polinación.

Aunque la familia de Chenopodiaceae incluye plantas xerófitas bien adaptadas a condiciones de aridez y son tolerantes al estrés hídrico durante periodos prolongados de sequía (Cariñanos *et al.*, 2004), se ha obtenido una recta de tendencia negativa aunque no significativa de los IPAs del este tipo polínico en la atmósfera de Málaga, a lo largo de los 24 años estudiados. Este comportamiento coincide con el observado en otras localidades del sur de la Península Ibérica como Córdoba, Granada y también en Badajoz, aunque en este caso la tendencia fue negativa para el periodo de estudio (1994-2013) (Galán *et al.*, 2016).

Si bien que en el área de Aerobiología, consideramos un único tipo polínico de las familias Chenopodiáceas y amarantáceas (Trigo *et al.*, 2008), en realidad, se trata de numerosas especies con características fisiológicas diferentes, que pueden presentar un comportamiento distinto en su adaptación al cambio climático. En estudios previos, muchos autores pusieron de manifiesto la

importancia de la lluvia como variable climática sobre los índices polínicos de las herbáceas en el área del Mediterráneo (González-Minero *et al.*, 1998; Recio *et al.*, 2010), pero, fundamentalmente, de la precipitación registrada antes de la floración (Trigo *et al.*, 1996b; Tormo Molina *et al.*, 2001; García-Mozo *et al.*, 2009). En este caso que nos ocupa, en los años que se han producido menores cantidades de precipitación (2013, 2014, 2015) se observaron índices polínicos más bajos. A parte de los efectos de las precipitaciones, la tendencia observada a la disminución de los niveles de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae, puede ser consecuencia de la intervención urbanística realizada en la zona próxima al punto de muestreo en los últimos años, ya que también se ha observado en este trabajo un descenso considerable en los registros polínicos correspondientes a otras especies herbáceas con las que las especies de Amarantáceas comparten hábitats (*Rumex*, *Plantago*) en nuestra área de estudio.

El polen Chenopodiaceae-Amaranthaceae presentó una ligera tendencia al alargamiento del periodo de polinación principal en Málaga aunque, en general, la duración del PPP fue bastante estable durante los años estudiados (Fig. 4.33). Este hecho es el resultado de un adelanto en inicio de dicho periodo. En el sur de España, se observó también un alargamiento del PPP de este tipo tanto en Murcia (Munuera Giner *et al.*, 2002) como en Almería (Sabariego *et al.*, 2002). Varios autores pusieron de manifiesto que el incremento de las temperaturas registrado en los últimos veinte años, lo que ha sido verificado también en nuestro caso, ha llevado a un adelanto de las fechas de inicio de la floración de las especies que dependen de las temperaturas del invierno para iniciar su ciclo reproductivo (Alcázar *et al.*, 2011; García-Mozo *et al.*, 2002; Levetin, 2001) mientras aquellas que florecen en verano, incluso las amarantáceas, muestran un alargamiento en el periodo de polinación principal (Huynen & Menne, 2003). Si prestamos atención al final del PPP del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae (Fig. 4.35), se puede apreciar que éste presentó un valor muy bajo de coeficiente de determinación ( $R^2=0,004$ ), lo que nos permite decir que no se puede determinar un patrón claro en lo que se refiere al final de la estación. Esto podría ser explicado por el hecho del aumento significativo de la temperatura observado en Málaga durante el verano (meses de julio-agosto) a lo largo de los 24 años (Tabla 4.3), junto con la ausencia de precipitación, que tendrían un efecto negativo sobre las concentraciones del polen de amarantáceas en la atmósfera de Málaga, dando lugar a un adelantamiento del final de la estación polínica por agostamiento de las plantas. Por otra parte, se ha observado un descenso de los niveles del valor pico y un retraso de la fecha en que se detectan las concentraciones máximas en el aire.

El comportamiento intradiario de este polen fue estable a lo largo del periodo estudiado, con picos máximos que tuvieron lugar en torno de mediodía (12:00-14:00), tal y como se puso de manifiesto en un trabajo anterior llevado a cabo en la ciudad malagueña (Trigo *et al.*, 1997). También, se ha observado un comportamiento similar en otras localidades españolas como Cáceres (Muñoz Rodríguez *et al.*, 2000), Salamanca (Rodríguez de la cruz *et al.*, 2011), Córdoba (Galán *et al.*, 1991), Almería (Sabariego, 2003).

Los coeficientes de correlación obtenidos en Málaga entre las concentraciones de polen y los diferentes parámetros meteorológicos durante el PPP fueron muy similares a los del periodo post-pico, debido a la longitud de estos últimos y a la corta duración del pre-pico. Se ha observado que las temperaturas mostraron una gran influencia sobre los niveles de polen de Chenopodiaceae-

Amaranthaceae, papel que ya ha sido puesto de manifiesto por diversos autores (González Minero *et al.*, 1997; Cariñanos *et al.*, 2004), con correlaciones significativas y positivas durante el pre-pico y negativas durante el post-pico. Por otra parte, también se aprecia el efecto que tiene la dirección del viento sobre los niveles de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga. Muchos trabajos han establecido que cualquier tipo de polen aumenta sus niveles en el aire cuando el viento sopla desde la dirección en la que las principales masas de especies productoras se encuentran ubicadas (Díaz de la Guardia *et al.*, 2003; Damialis *et al.*, 2005). Asimismo, al igual con lo que ocurre con la mayoría de los tipos polínicos estudiados en Málaga, el viento del segundo cuadrante, procedente del mar, conlleva una disminución de los niveles de polen mientras que el viento del cuarto cuadrante (noroeste) favorece el aumento de las concentraciones al traer pólenes procedentes de zonas interiores más alejadas al captador. Cabe destacar la correlación significativa y negativa obtenida con el viento del primer cuadrante teniendo en cuenta todo el PPP, al igual lo que ocurre durante el post-pico. El hecho que las mayorías de los datos queden dentro del período post-pico, explica los valores negativos obtenidos solamente durante dicho periodo. Por lo general, se trata de vientos con poca frecuencia en Málaga que influyen de forma negativa sobre los niveles de este tipo de polen.

Por otra parte, las correlaciones positivas obtenidas con la velocidad media del viento ponen de manifiesto la influencia positiva que tiene el viento sobre el transporte de partículas, favoreciendo el aumento de las concentraciones de polen en el aire, mientras que los periodos de calma tienden a disminuirlas.

En cuanto a las precipitaciones, se obtuvieron coeficientes de correlaciones positivos y significativos tanto durante el PPP completo como durante el periodo post-pico. Este hecho, puede ser explicado por un efecto positivo que tiene las lluvias, especialmente de abril, sobre las concentraciones de polen de Chemopodiaceae, tal como explicó Recio *et al.* (2010). En este mismo sentido, observó que las especies herbáceas presentan una respuesta inmediata a las condiciones meteorológicas, siendo considerado el estrés hídrico como uno de los factores que más afectan a su desarrollo normal desarrollo (Hensen, 1999) y, aunque son capaces de ajustar su ciclo biológico a la disponibilidad de agua en el suelo (Izco *et al.*, 1997), la mayoría reacciona ante la sequía reduciendo lo más posible sus funciones reproductivas. En lo que se refiere a las correlaciones positivas y significativas obtenidas con las horas de sol durante el periodo post-pico, se debe a que ambos parámetros se encuentran en declive durante dicho periodo.

Los análisis de regresión demuestran que las concentraciones del día anterior, la temperatura media, la D-media, la precipitación y la velocidad media del viento son las mejores variables independientes que llegan a explicar gran parte de la variabilidad de los niveles de polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae durante el pre-pico en la atmósfera de Málaga. Si bien el valor del coeficiente de determinación no fue muy elevado, los modelos obtenidos fueron significativos y por tanto se puede afirmar que existe una relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independiente (Tabla 4.29). El signo negativo de la precipitación y la velocidad media del viento muestran el efecto negativo que tienen estas variables sobre los niveles de este tipo polínico durante el periodo pre-pico.

Por otro lado, si tenemos en cuenta la validación del mejor modelo de pronóstico obtenido (Tabla 4.29), comparando datos observados con los esperados durante el pre-pico del año 2016,

podemos concluir que, este modelo generó buenas predicciones, con coeficientes de correlación significativo, indicando una asociación entre los datos estimados y observados en el año 2016. Sin embargo, la prueba de *Wilcoxon* contradice los resultados del test de *Spearman*, mostrando diferencias significativas entre los rangos de los datos comparados (Tabla 4.30). Este hecho, nos indica que este modelo no se muestra suficientemente adecuado para predecir, de manera precisa, las concentraciones medias diarias del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae durante el periodo pre-pico.

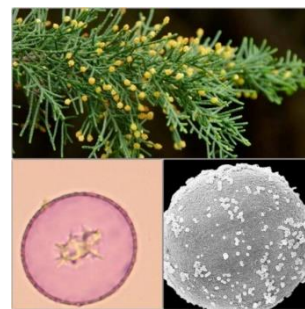
El polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae ha sido clasificado como uno de los principales causantes de alergia en sur de Europa (Spieksman *et al.*, 1980, Alfaya & Marqués, 2002), así como en zonas desérticas como Kuwait (Ezeamuzie *et al.*, 1997) y Arabia Saudita (Suliaman *et al.*, 1997). Este tipo polínico está adquiriendo una gran importancia como alérgeno en áreas del Mediterráneo, donde algunos géneros de estas familias están incrementando progresivamente sus poblaciones, ya que se adaptan perfectamente a los veranos largos y secos, en comparación con otras plantas peor adaptadas a sobrevivir en estas condiciones climáticas (Rodríguez *et al.*, 2007). Dentro de las dos familias, *Salsola kali* L. es considerada como la más alergógena en la región mediterránea, seguido de otros taxones como *Atriplex*, *Chenopodium album* y *Amaranthus retroflexus* L. (Würtzen *et al.*, 1995; Sabariego, 2003; Ferrer *et al.*, 2012). Según Levetin & Buck (1980) este tipo polínico presenta, además, reactividad cruzada con el polen de diversas especies de las familias Oleaceae y Poaceae (Galán *et al.*, 1989) y también con algunas especies de la familia Asteraceae, tales como las del género *Artemisia* (Cariñanos *et al.*, 2000b). En España, la prevalencia a este tipo polínico varía según el área estudiada, con porcentajes que oscilan entre el 8-10% (Galán *et al.*, 1989; Recio *et al.*, 1998b) y los 50% (García & Munuera, 1996). En un estudio llevado a cabo en Toledo, Pola (2003) y Subiza *et al.* (2007) señalan que el polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae representa la tercera causa más importante de las polinosis registradas en esta localidad, dando lugar a reactividad positiva en más del 90% de los pacientes atópicos, con umbrales de riesgo estimados entre los 10 y 15 granos de polen/m<sup>3</sup> de aire. En Málaga, se detectó que entre 17% y 20% de los pacientes atópicos presentaban pruebas cutáneas positivas a este tipo polínico (Torrecillas *et al.*, 1998).



### 4.3.3. Tipo polínico Cupressaceae

La familia Cupressaceae comprende un total de 19 géneros, algunas de cuyas especies han sido introducidas en ciudades como ornamentales (*Cupressus* y *Thuja*), mientras otras se han empleado para la reforestación (*Cupressus macrocarpa* Hartw.), e incluso para la obtención de madera.

El tipo polínico Cupressaceae incluye también a los granos de polen de otras familias botánicas (Taxaceae) que, por su similitud, no es posible diferenciarlos debido al gran parecido que presentan desde el punto de vista morfológico (Trigo, 1989).



#### 4.3.3.1. Descripción botánica

Árboles o arbustos resinosos con hojas perennes, aciculares o escuamiformes, opuestas o dispuestas en verticilos de tres. Monoicas o dioicas, con estróbilos masculinos pequeños, con varios sacos polínicos distribuidos en el envés de pequeñas escamas; los femeninos generalmente leñosas, con escamas tectrices soldadas, excepto en el género *Juniperus* en los que son carnosos. Estos estróbilos, llamados gálbulos, con dos años de madurez, se utilizan en la elaboración de la ginebra. También se utilizan en Suecia, una vez tostados, como sustituto del café.

#### 4.3.3.2. Época de floración/polinización

La floración de las distintas especies ocurre, de manera sucesiva, a lo largo del año, aunque la mayoría de las especies florece durante el invierno, época en la que se alcanzan las concentraciones máximas. La polinización es de tipo anemófila.

#### 4.3.3.3. Morfología polínica

El grano de polen es inaperturado o monoanulcerado, con una abertura poco visible a microscopía óptica. Apolar y radiosimétrico. Esferoidal. Tamaño de entre 20 y 30  $\mu\text{m}$  de diámetro. Exina muy delgada, con elementos ornamentales de tipo orbículo irregularmente distribuidos por toda la superficie del grano de polen. Exina que se fractura muy fácilmente, por lo que es frecuente observar a la exina independientemente del contenido celular. Intina muy gruesa. Citoplasma con aspecto globular o estrellado.

#### 4.3.3.4. Variación interanual

El tipo polínico de Cupressaceae ha sido el segundo tipo más abundante en la atmósfera de Málaga, con un índice polínico total medio de 5.581, representando el 16,34 % el polen total durante el periodo de estudio (Tabla 4.31). Analizando la dinámica anual de este tipo polínico, se observa que existen diferencias interanuales de los IPAs, ya que oscilaron entre 2.136 y 16.847 por lo que se observa que la contribución de este polen al espectro polínico anual ha sido variable, destacándose un porcentaje de 31,85% en el de mayor incidencia (1996) y de 6,68% en el de menor incidencia (2008).

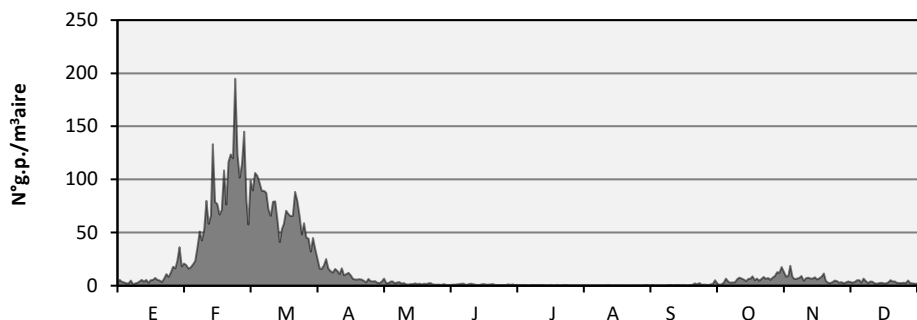


| Años  | IPA    | % anual | Semana pico |
|-------|--------|---------|-------------|
| 1992  | 4.942  | 22,09   | 19          |
| 1993  | 4.408  | 14,22   | 21          |
| 1994  | 3.778  | 14,59   | 18          |
| 1995  | 3.274  | 15,27   | 27          |
| 1996  | 12.209 | 31,85   | 25          |
| 1997  | 16.847 | 23,71   | 21          |
| 1998  | 6.203  | 17,55   | 22          |
| 1999  | 8.653  | 17,76   | 21          |
| 2000  | 8.778  | 27,10   | 20          |
| 2001  | 5.480  | 12,70   | 20          |
| 2002  | 2.603  | 8,20    | 20          |
| 2003  | 4.464  | 11,31   | 23          |
| 2004  | 3.211  | 12,34   | 24          |
| 2005  | 6.564  | 14,51   | 21          |
| 2006  | 2.172  | 8,02    | 20          |
| 2007  | 5.218  | 11,30   | 22          |
| 2008  | 2.136  | 6,68    | 23          |
| 2009  | 4.555  | 11,27   | 21          |
| 2010  | 3.427  | 10,39   | 25          |
| 2011  | 7.687  | 24,41   | 22          |
| 2012  | 4.214  | 14,02   | 23          |
| 2013  | 3.402  | 10,08   | 26          |
| 2014  | 6.384  | 13,88   | 25          |
| 2015  | 3.346  | 11,04   | 23          |
| Media | 5.581  | 16,34%  | 22          |

**Tabla 4.31.** Índice polínico anual, %anual y semana pico del tipo polínico Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

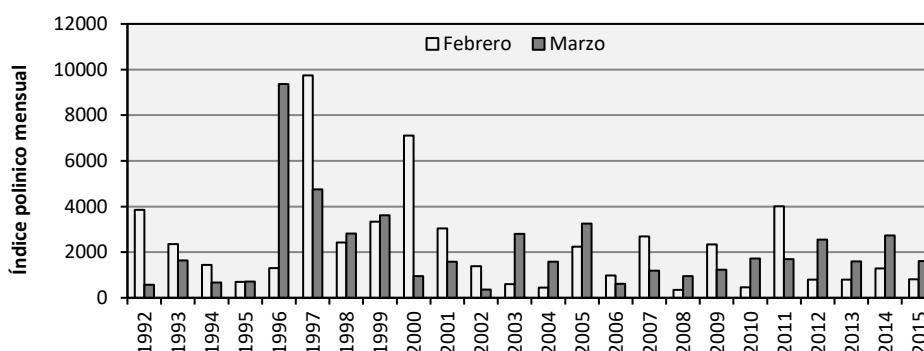
#### 4.3.3.5. Variación estacional

Durante el periodo estudiado, la distribución de las concentraciones medias diarias muestra que se pueden diferenciar dos periodos durante la estación polínica de Cupressaceae. De hecho, se observa un primer periodo de mayor intensidad que tiene lugar entre los meses de enero-abril, así como un segundo periodo, de menor intensidad, que comienza en octubre y finaliza en diciembre. Los niveles máximos de este tipo se detectan entre la semana 18 (año 1994) y la 27 (año 1995), pero más frecuentemente, entre las semanas 20 y 23 (Tabla 4.31). Cuando se analizan los promedios de las concentraciones medias diarias durante todo el periodo estudiado, se puede observar que aparecen varios picos de diferentes intensidades, llegándose hasta valores promedios de 195 g.p./m<sup>3</sup> durante la última semana del mes de febrero, mientras que el pico de otoño apenas llega a los 19 granos de polen/m<sup>3</sup> durante la última semana de octubre (Fig. 4.41).



**Figura 4.41.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El patrón de la distribución mensual muestra que las cantidades máximas del polen de Cupressaceae fueron fluctuando entre los meses de febrero y marzo, excepto en 2012 en que se detectaron los valores máximos mensuales en el mes de mayo. Los índices polínicos mensuales del mes de febrero fluctuaron entre 352 (año 2008) y 9.748 (año 1997) mientras aquellos obtenidos durante el mes de abril oscilaron entre 365 (año 2002) y 9.368 (año 1996) (Fig. 4.42).



**Figura 4.42.** Índices polínicos mensuales obtenidos en febrero, marzo para el tipo polínico Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

La evolución de las concentraciones medias diarias del tipo Cupressaceae para cada uno de los años estudiados en Málaga muestra un periodo de mayor actividad entre febrero y abril en el que se alcanzaron las concentraciones más elevadas, caracterizándose por un suceso de picos. Todos los años presentan un comportamiento similar excepto algunas diferencias puntuales siendo los años 1996 y 1997 que presentaron un gran número de días con concentraciones altas mientras que los años 2002, 2006, 2008 y 2015 se registraron niveles menores al patrón promediado. Los valores picos de este tipo polínico se detectan casi siempre en el mes de febrero con pico máximo histórico de 1.071 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2000) con excepción a los años 2003, 2004, 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015 cuando se obtuvieron picos máximos en el mes de marzo con un valor máximo histórico de 1.056 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 1996). Con respecto al pico otoñal obtenido generalmente durante los meses de octubre-diciembre, se observa que los niveles fueron bajos durante los distintos años, destacando los años 1996, 2010 y 2013 donde los niveles alcanzados fueron superiores a los promedios (Fig. 4.43).

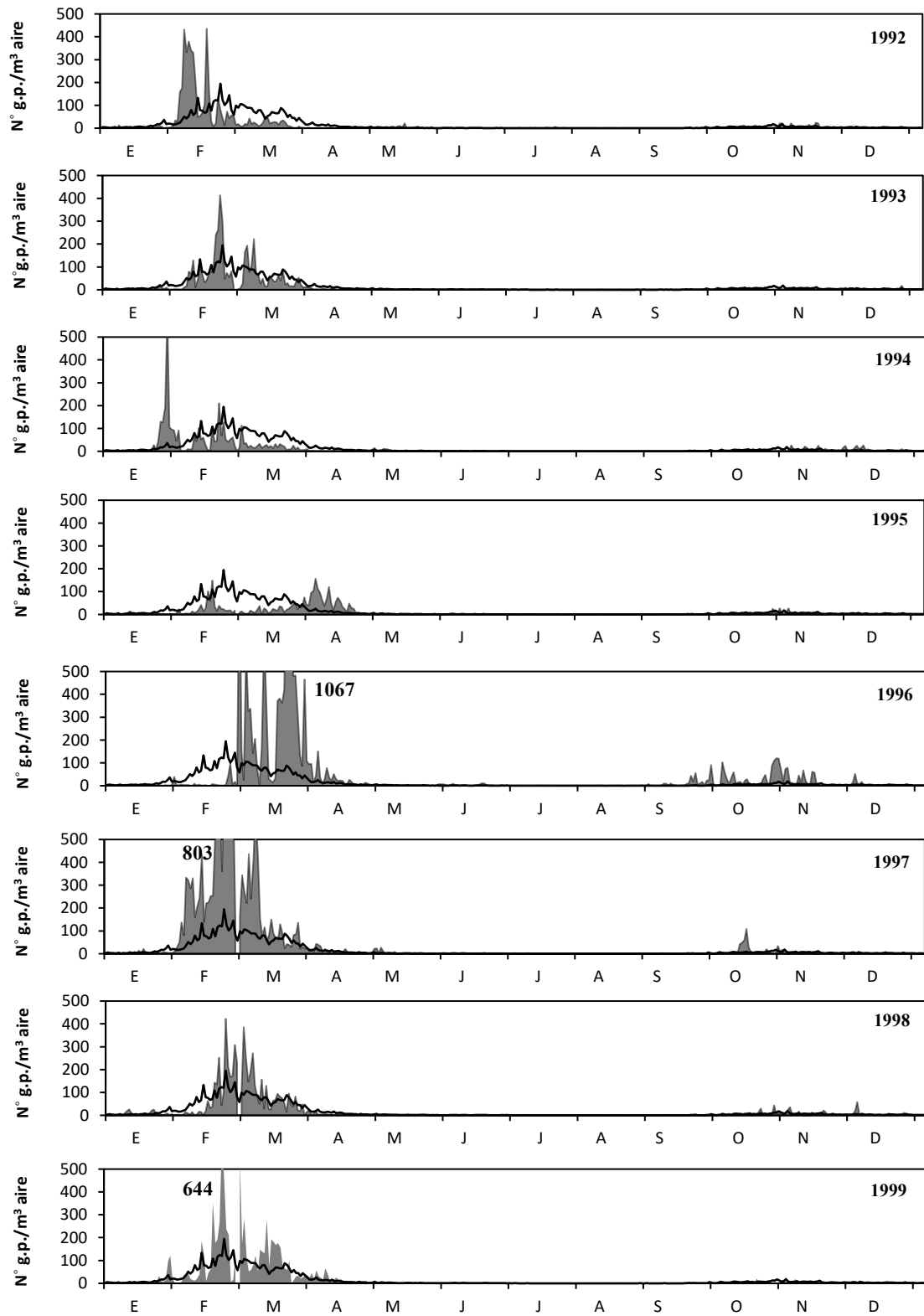


Figura 4.43. Concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

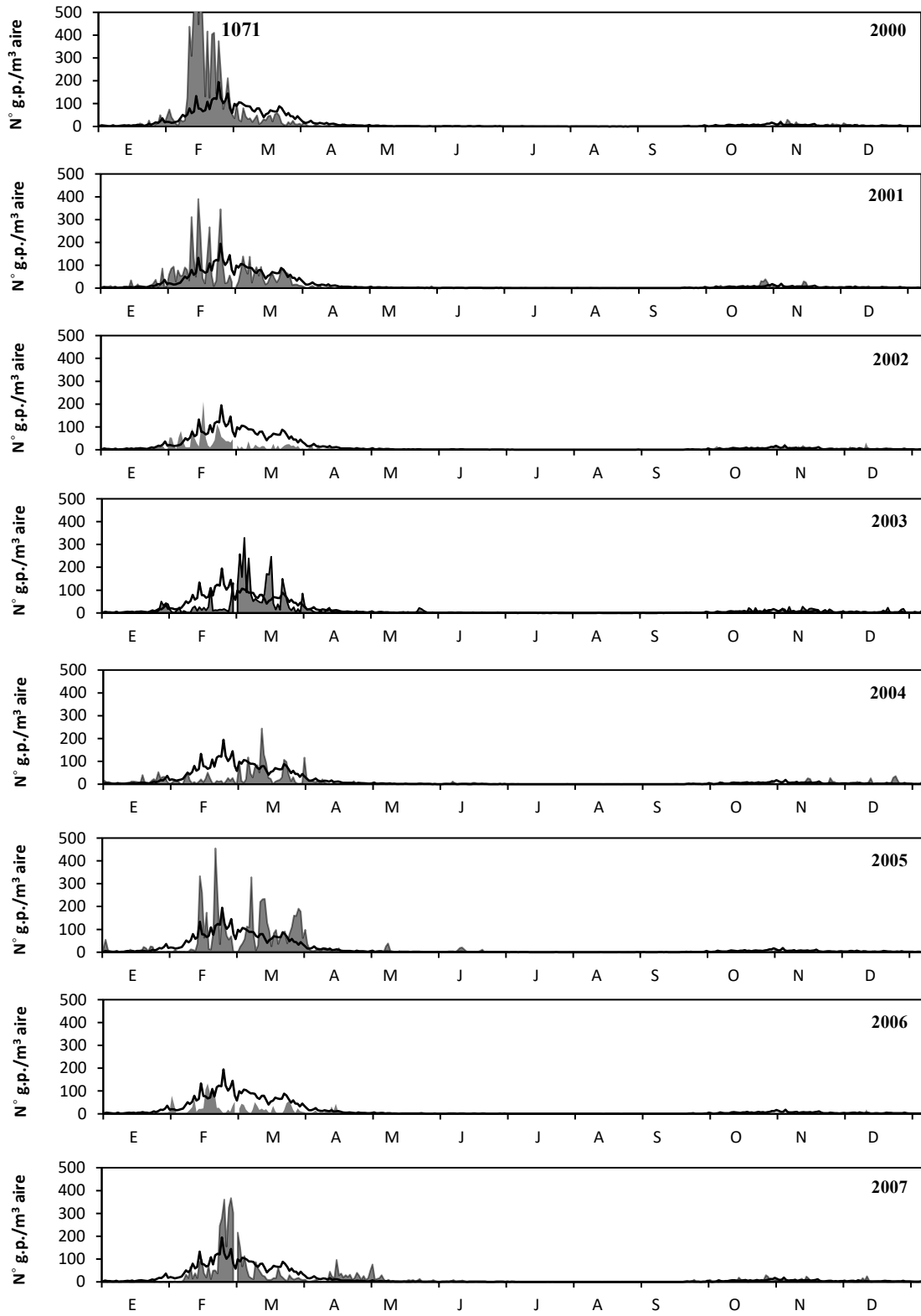


Figura 4.43. Continuación.

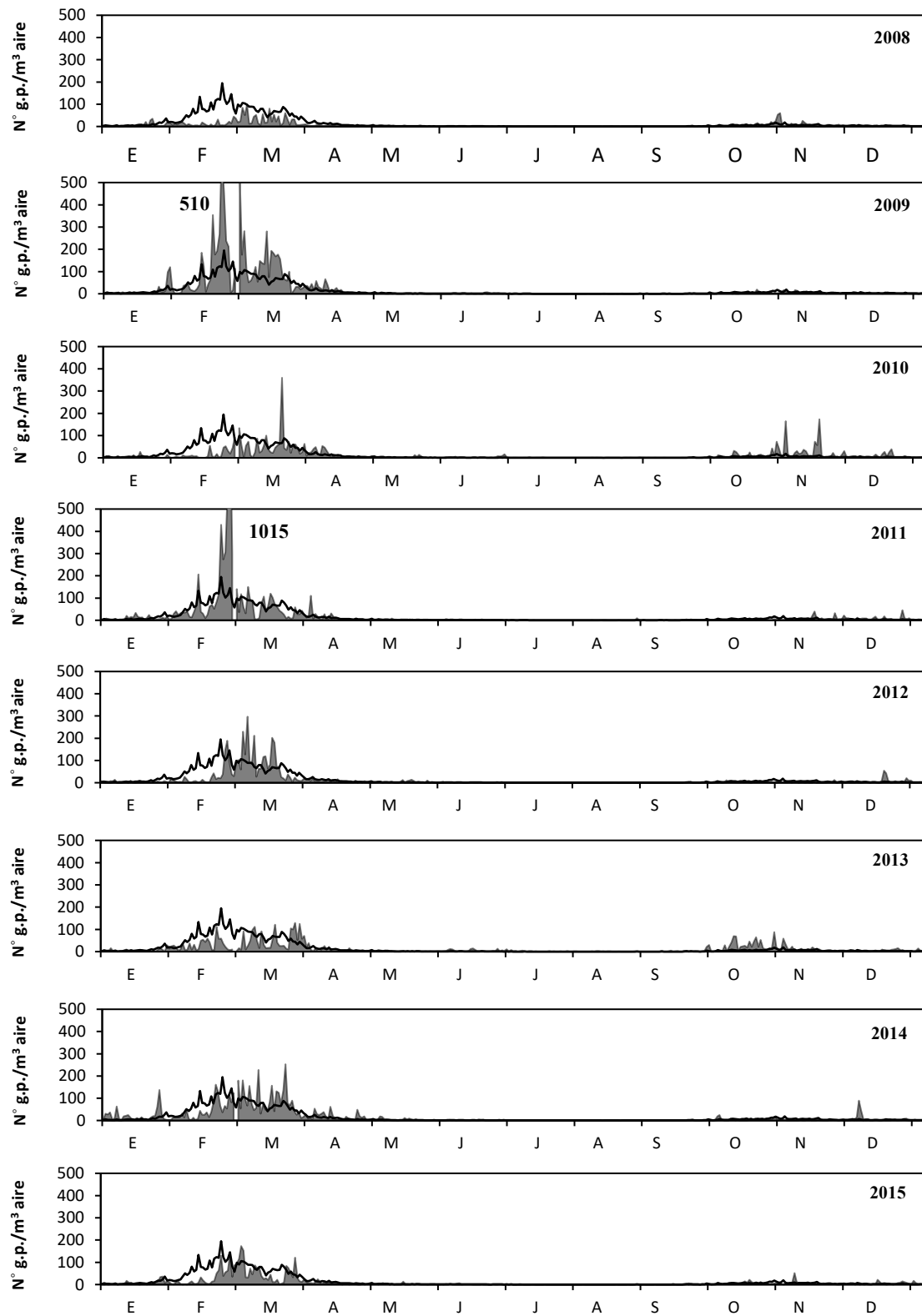


Figura 4.43. Continuación.

#### 4.3.3.6. Periodo de polinación principal

Por este tipo polínico se ha modificado la metodología general utilizada para el establecimiento del PPP ya que se optó por tomar el periodo anual desde el 1 de octubre hasta 30 de septiembre del año siguiente (Tabla 4.32).

Durante el conjunto de los años (1991-2015), el PPP tuvo una duración media de 185 días. La fecha promedio del inicio del PPP fue el 6 de noviembre, mientras el final fue el 07 de mayo. La duración de este periodo ha ido variando entre un mínimo de 128 días (1993-1994) y un máximo de 281 días (2012-2013), con un índice polínico anual medio para este periodo de 5.310, que osciló entre los 16.031 (1996-1997) y los 2.030 (2007-2008).

La fecha media del día pico fue 01-03 y la media de concentración máxima obtenida en este día, de 441 granos/m<sup>3</sup>. Los días picos fueron muy heterogéneos, teniendo lugar durante los meses de febrero y marzo, salvo excepciones, como en el periodo 1993-1994 cuando se produjo en el mes de enero. La concentración del día pico ha fluctuado entre un mínimo de 100 granos de polen/m<sup>3</sup> de aire (2007-2008) y un máximo de 1.071 granos de polen/m<sup>3</sup> de aire (1999-2000).

Los periodos pre-pico del polen de Cupressaceae fueron más largos que los post-pico, con una duración media de 116 días para el pre-pico frente a los 69 días del periodo post-pico, si bien se observa que este comportamiento no fue homogéneo durante los distintos años. Además, se aprecia que las cantidades de polen registradas durante el post-pico fueron mayores, con un índice polínico medio de 3.328 mientras que se obtuvo un valor medio de 2.083 durante el pre-pico. Así, durante el pre-pico, el índice polínico osciló entre 274 (1995-1996) y 6.210 (1996-1997), mientras que durante el post-pico estos valores oscilaron entre 851 (2012-2013) y 11.356 (1995-1996).

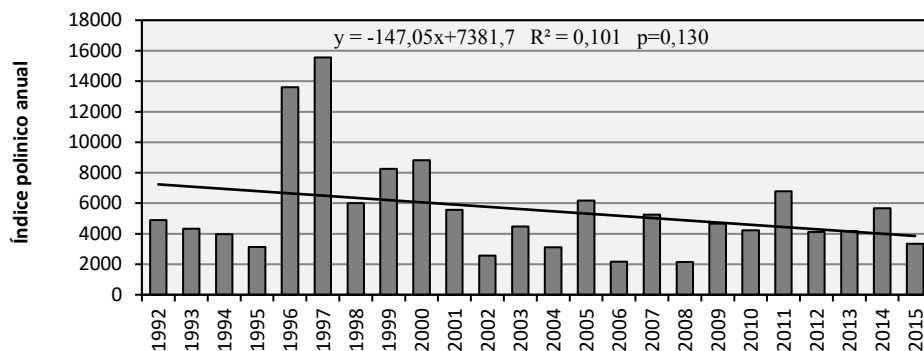
#### 4.3.3.7. Estudio de tendencias

##### ▪ Índice polínico anual

La evolución de los índices polínicos anuales de Cupressaceae ha fluctuado de forma importante a lo largo de los distintos años, como se ha comentado anteriormente. De hecho, se observa que los niveles de este tipo polínico muestran una tendencia negativa aunque estadísticamente no significativa según la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,196$ ;  $p=0,192$ ) (Tabla 4.33), así como el análisis de la regresión. Esto indica un descenso los IPAs de este polen en la atmósfera de Málaga a lo largo del periodo estudiado (Fig. 4.44). La pendiente de *Sen* refleja esta disminución, con un valor igual a -97,51.

| Periodo   | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1991-1992 | 12-11 (43)/05-05 (218)  | 176      | 4.698         | 17-02-92 (140)  | 435                                    | 97       | 2.929         | 79        | 1.769         |
| 1992-1993 | 11-11 (42)/01-04 (183)  | 143      | 4.195         | 22-02-93 (146)  | 414                                    | 104      | 1.557         | 39        | 2.638         |
| 1993-1994 | 06-12 (67)/12-04 (194)  | 128      | 3.592         | 29-01-94 (121)  | 602                                    | 54       | 638           | 75        | 2.954         |
| 1994-1995 | 07-11 (38)/26-04 (208)  | 171      | 3.120         | 05-04-95 (187)  | 156                                    | 149      | 2.025         | 22        | 1.095         |
| 1995-1996 | 31-01 (123)/16-09(352)  | 230      | 11.630        | 29-02-96 (152)  | 1.067                                  | 29       | 274           | 201       | 11.356        |
| 1996-1997 | 19-10 (19)/02-04 (185)  | 167      | 16.031        | 21-02-97 (144)  | 803                                    | 125      | 6.210         | 42        | 9.821         |
| 1997-1998 | 12-10 (12)/30-03 (181)  | 171      | 5.785         | 23-02-98 (146)  | 423                                    | 134      | 1.482         | 37        | 4.303         |
| 1998-1999 | 31-10 (31)/10-04 (192)  | 162      | 8.265         | 22-02-99 (145)  | 644                                    | 114      | 2.311         | 48        | 5.954         |
| 1999-2000 | 14-11 (45)/29-03 (180)  | 137      | 8.349         | 13-02-00 (136)  | 1.071                                  | 91       | 1.964         | 46        | 6.385         |
| 2000-2001 | 03-11 (34)/05-04 (187)  | 154      | 5.209         | 13-02-01 (136)  | 390                                    | 102      | 1.645         | 52        | 3.564         |
| 2001-2002 | 15-10 (15)/27-04 (209)  | 195      | 2.483         | 15-02-02 (138)  | 211                                    | 123      | 1.149         | 72        | 1.334         |
| 2002-2003 | 25-10 (25)/06-05 (218)  | 194      | 4.250         | 05-03-03 (156)  | 329                                    | 131      | 1.786         | 61        | 2.464         |
| 2003-2004 | 18-10 (18)/08-05 (221)  | 204      | 3.063         | 11-03-04 (163)  | 244                                    | 145      | 1.834         | 59        | 1.229         |
| 2004-2005 | 14-11 (45)/07-05 (219)  | 175      | 6.220         | 20-02-05 (142)  | 455                                    | 97       | 1.515         | 78        | 4.709         |
| 2005-2006 | 12-11 (43)/10-05 (222)  | 180      | 2.067         | 16-02-06 (139)  | 133                                    | 96       | 550           | 84        | 1.514         |
| 2006-2007 | 24-12 (85)/12-05 (224)  | 140      | 4.958         | 27-02-07 (150)  | 367                                    | 65       | 2.067         | 75        | 2.891         |
| 2007-2008 | 12-10 (12)/14-05 (227)  | 216      | 2.030         | 05-03-08 (157)  | 100                                    | 145      | 1.098         | 71        | 932           |
| 2008-2009 | 25-10 (25)/25-04 (207)  | 183      | 4.337         | 23-02-09 (146)  | 510                                    | 121      | 2.141         | 62        | 2.196         |
| 2009-2010 | 08-10 (08)/25-06 (268)  | 261      | 3.265         | 20-03-10 (171)  | 360                                    | 163      | 1.937         | 98        | 1.328         |
| 2010-2011 | 21-10 (21)/09-04 (191)  | 171      | 7.308         | 27-02-11 (150)  | 1.015                                  | 129      | 4.086         | 42        | 3.240         |
| 2011-2012 | 13-11 (44)/14-05 (227)  | 184      | 4.033         | 06-03-12 (158)  | 297                                    | 114      | 1.860         | 70        | 2.173         |
| 2012-2013 | 02-11 (33)/09-08 (313)  | 281      | 3.238         | 27-03-13 (178)  | 129                                    | 145      | 2.387         | 136       | 851           |
| 2013-2014 | 08-10 (8)/ 03-05 (215)  | 208      | 6.138         | 22-03-14 (173)  | 253                                    | 165      | 4.988         | 43        | 1.150         |
| 2014-2015 | 20-10 (20)/15-05 (227)  | 208      | 3.180         | 04-03-15 (155)  | 173                                    | 135      | 1.560         | 73        | 1.620         |
| 1991-2015 | 06-11 (37)/07-05 (220)  | 185      | 5.310         | 01-03(152)      | 441                                    | 116      | 2.083         | 69        | 3.328         |

Tabla 4.32. Indicadores del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1991-2015).



**Figura 4.44.** Evolución del índice polínico anual del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,196            | 0,192 | -97,51           |

**Tabla 4.33.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga, usando el test de Mann-Kendall y la estimación de la pendiente de Sen, durante la serie estudiada (1992-2015).

▪ Niveles del polen de Cupressaceae

En la tabla 4.34, se muestran los resultados de la evolución del número de días al año, durante el periodo estudiado, con diferentes niveles de polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga, según la categoría del grupo 4 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007). Se observa que los días con niveles nulos (<1 g.p./m<sup>3</sup>) obtuvieron una media de 151 (±34) ya que variaron entre 87 y 209 días. Por otra parte, los días con niveles bajos, es decir, comprendidos entre 1-50 g.p./m<sup>3</sup> presentaron una media de 189 (±35). Para las dos siguientes categorías, niveles moderas y altos, se observa que la media fue tan sólo 20 días para la primera (50-200 g.p./m<sup>3</sup>) y de 6 días para la segunda (>200 g.p./m<sup>3</sup>). En el caso del número de días con niveles moderados, éste osciló entre 10 y 33, con un porcentaje de variación relativamente alto de 33,6%, mientras que el número de días con niveles superiores a 200 g.p./m<sup>3</sup> osciló entre 0 y 28.

| Niveles                            | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|------------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1g.p./m <sup>3</sup>      | 87     | 209    | 151   | 34           | 22,2   |
| Nº días 1-50g.p./m <sup>3</sup>    | 128    | 256    | 189   | 35           | 18,7   |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 10     | 33     | 20    | 7            | 33,6   |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 28     | 6     | 6            | 11,7   |

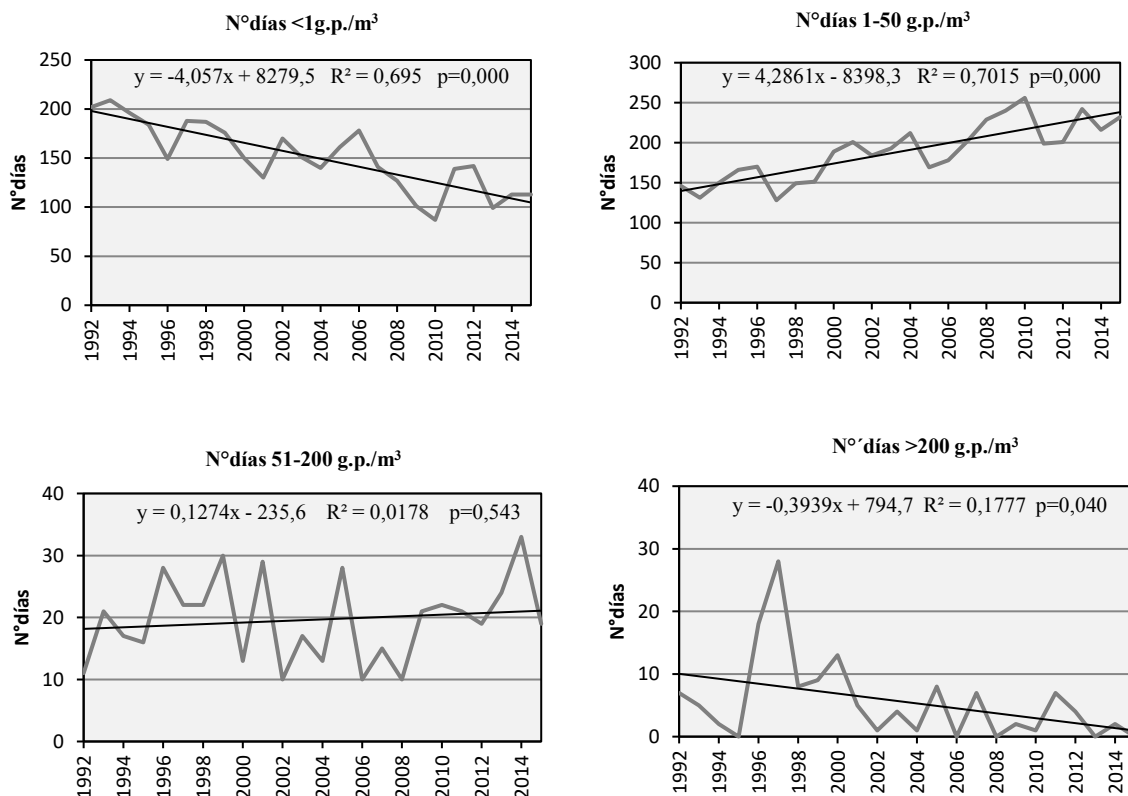
**Tabla 4.34.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



En lo que se refiere a la evolución del comportamiento del número de días con diferentes niveles de polen de *Cupressaceae*, se observó una tendencia negativa y significativa tanto en el caso del número de días sin granos de polen en la atmósfera (<1 granos de polen/m<sup>3</sup>) como en el caso del número de días con niveles superiores a los 200 granos de polen/m<sup>3</sup>. Por el contrario, se ha observado una tendencia positiva tanto en el número de días de la categoría 1-50 granos de polen/m<sup>3</sup>, como en la de 51-200 granos de polen/m<sup>3</sup>, lo que indica un aumento del número de días con esos niveles de polen. Sin embargo, dicha tendencia sólo resultó ser estadísticamente significativa en el primer caso (Tabla 4.35, Fig. 4.45).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |         | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|---------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.    | Q                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,657            | <0,0001 | -4,02            |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,672             | <0,0001 | 4,26             |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 0,085             | 0,584   | 0,12             |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | -0,347            | 0,023   | -0,27            |

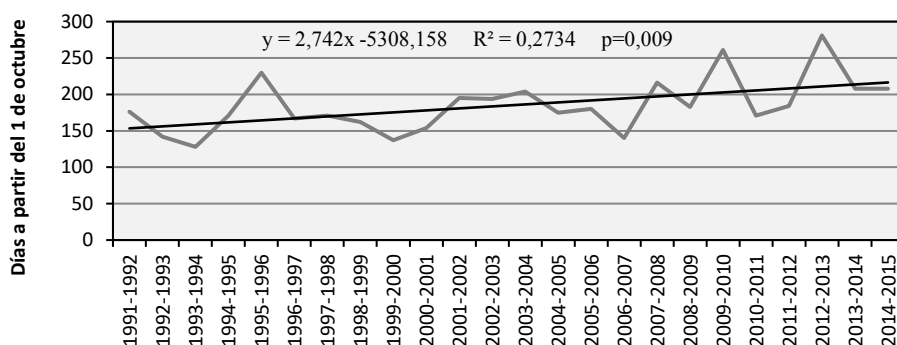
**Tabla 4.35.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Cupressaceae* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.45.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones medias diarias del polen de *Cupressaceae* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

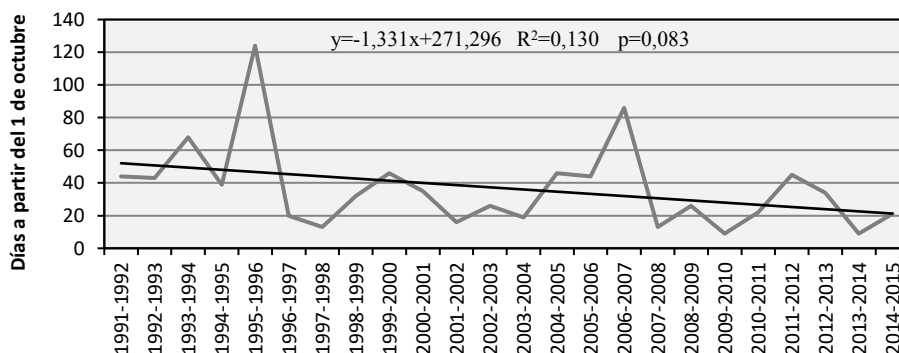
▪ **Parámetros del PPP**

La figura 4.46 muestra el análisis de **la duración del periodo de polinación principal** del polen de Cupressaceae en Málaga durante el periodo 1991-2015. De hecho, se puede observar que presenta una tendencia positiva y estadísticamente significativa, lo que indica un alargamiento de la duración del PPP de este tipo polínico, apoyado por los resultados del test *Mann-Kendall* ( $Z=0,387$ ,  $p=0,012$ ), y los resultados de la regresión lineal. Por otra parte, se observa que la duración de este periodo varió entre 128 y 281 días, con un promedio de 185 días ( $\pm 38$ ). El porcentaje de variación de la duración de PPP ha sido del 20%. La tendencia observada también viene explicada por la pendiente de *Sen*, con un valor igual a 2,51 (Tabla 4.36).



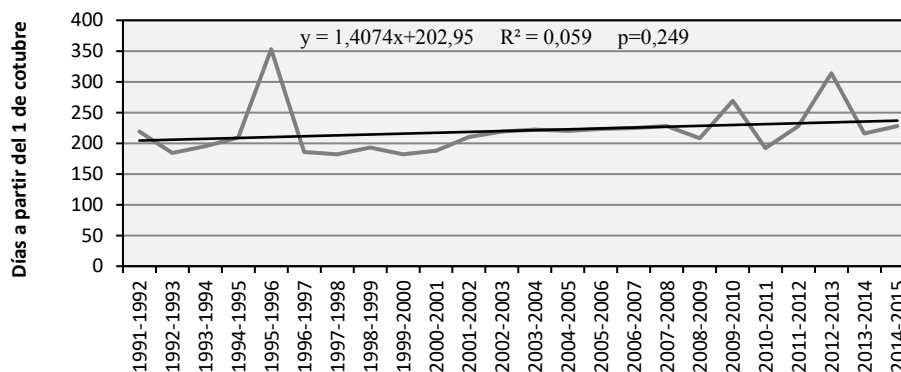
**Figura 4.46.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

El estudio de la evolución **inicio del PPP** del polen de Cupressaceae indica una tendencia negativa y estadísticamente significativa ( $Z=-0,267$ ,  $p=0,074$ ), lo que se traduce en un adelanto en el comienzo de la estación polínica. La fecha media de inicio fue el 06 de noviembre (día  $37\pm 27$ ). Esas fechas fueron variando entre el día 21-10 (día 9) y el 01-02 (día 124), por lo que el porcentaje de variación fue alto, del 73%. La prueba de estimación de la pendiente de *Sen* corrobora el patrón observado ya que inicio presentó un valor de signo positiva igual a -1 (Fig. 4.47, Tabla 4.36).



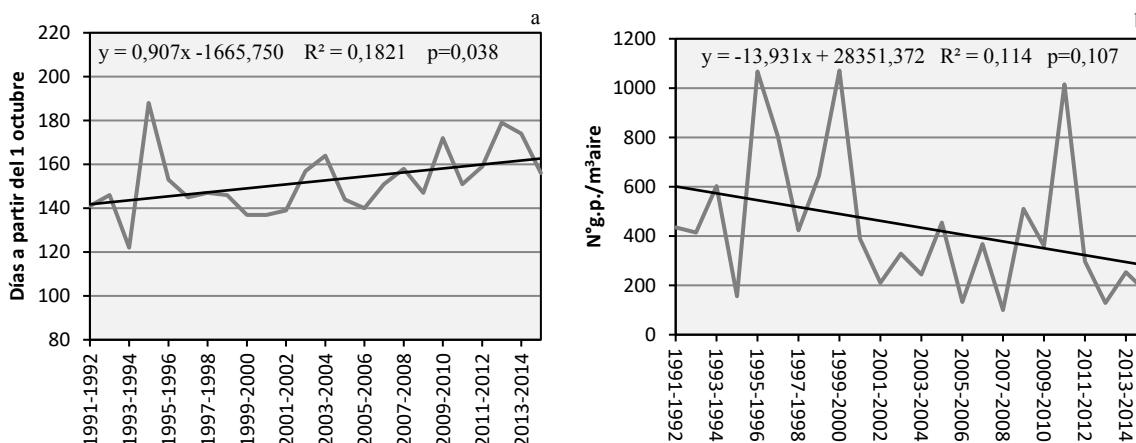
**Figura 4.47.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

La **fecha del final** del periodo de polinación principal mostró una tendencia positiva, además estadísticamente significativa, indicando un alargamiento del final de la estación polínica del ciprés ( $Z=0,406$ ,  $p=0,006$ ), lo que contradice los resultados de la regresión lineal con ausencia de una tendencia significativa (Tabla 4.36, Fig. 4.48). El final del PPP presentó fechas que oscilaron entre el 31-03 (día 182) y el 10-06 (día 353), con un promedio situado en el día  $220\pm 41$ . La dinámica del final de PPP tuvo un valor de pendiente de *Sen* igual a 1,78.



**Figura 4.48.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

El comportamiento del **día pico** muestra una tendencia positiva y significativa a lo largo del periodo estudiado ( $Z=0,372$ ,  $p=0,012$ ), lo que indican una tendencia al retraso en la fecha en la que se produce. Este evento ocurrió, como fecha promedio en el día 01 de marzo ( $152\pm 15$ ) con un valor del coeficiente de variación del 10%. En lo que se refiere al valor de **la concentración media diaria del día pico**, se observó un patrón de tendencia negativa y estadísticamente significativo ( $Z=-0,312$ ,  $p=0,034$ ), lo que indica una tendencia a la disminución de las concentraciones. La pendiente de *Sen* arrojó un valor igual a -14,41 (Fig. 4.49, Tabla 4.36).



**Figura 4.49.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico Cupressaceae (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de <i>Sen</i> |
|--------------|-------------------|-------|-------------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                       |
| Inicio PPP   | -0,267            | 0,074 | -1                      |
| Final PPP    | 0,406             | 0,006 | 1,78                    |
| Duración PPP | 0,387             | 0,009 | 2,51                    |
| Día pico     | 0,372             | 0,012 | 1,10                    |
| Valor pico   | -0,312            | 0,034 | -14,41                  |

**Tabla 4.36.** Resumen de los resultados del análisis del *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los parámetros relacionados con el PPP del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

#### 4.3.3.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

Analizando las correlaciones obtenidas entre las concentraciones medias diarias de polen de Cupressaceae durante el PPP completo de todos los años estudiados (1991-2015) y los principales parámetros meteorológicos (Tabla 4.37), se aprecian coeficientes de correlación significativos y negativos con los parámetros de calor (las temperaturas y horas de sol), así como con el viento del segundo cuadrante (SE), mientras que son significativos y positivos con el viento del cuarto cuadrante (NO). Por otra parte, también aparecieron correlaciones significativas y negativas con la velocidad media del viento y la humedad relativa, no obteniéndose valores significativos con la precipitación, ni tampoco con los vientos del primer y tercer cuadrante ni con las calmas.

Al considerar sólo los datos del periodo pre-pico, los signos de los coeficientes de correlaciones se tornaron positivos con las temperaturas, así como con las horas de sol. El patrón de los vientos del segundo y cuarto cuadrante fue muy similar al del PPP completo, mientras que las precipitaciones y las calmas mostraron un efecto negativo sobre las concentraciones del polen Cupressaceae, ya que los coeficientes de correlación fueron significativos y negativos.

Durante el periodo post-pico, se observan variaciones en el comportamiento de las temperaturas que siguen siendo significativos, pero con signo negativo. Además, ocurrió lo mismo con las horas de sol y la humedad relativa. En cuanto a la dirección de los vientos, aparecen correlaciones significativas y negativas con el viento de tercer cuadrante (SO) mientras con el viento de cuarto cuadrante (NO) se observaron correlaciones significativas y positivas. Por último, se obtuvieron correlaciones negativas y significativas con las calmas y la humedad relativa. Para el resto de los parámetros no se obtuvieron valores significativos del coeficiente de correlación.

#### 4.3.3.9. Análisis de autocorrelaciones

El análisis de autocorrelación revela que existe un elevado número de retardos (14 retardos) cuyos coeficientes son significativos, disminuyendo su valor progresivamente.

Al considerar la autocorrelación parcial se observa que sólo se mantuvieron significativos los coeficientes correspondientes a los 2 días anteriores, siendo el día anterior (n-1) el que obtuvo un mayor coeficiente de autocorrelación y el de mayor nivel de significación (Fig. 4.50).

|               | PPP<br>N=4431 | Pre-pico<br>N=2767 | Post-pico<br>N=1664 |
|---------------|---------------|--------------------|---------------------|
| Precipitación | -0,024        | -0,077*            | 0,046               |
| Temp. Max     | -0,108**      | 0,169***           | -0,398***           |
| Temp. Med     | -0,141***     | 0,176***           | -0,426***           |
| Temp. Min     | -0,162***     | 0,087**            | -0,396***           |
| Humedad rel.  | -0,036*       | -0,075**           | -0,191**            |
| Horas de Sol  | -0,039*       | 0,188***           | -0,262**            |
| V. med. vt    | -0,032*       | -0,009             | -0,035              |
| %Vto. 1°C.    | 0,005         | -0,021             | -0,002              |
| % Vto. 2°C.   | -0,058*       | -0,062*            | 0,002               |
| % Vto. 3°C.   | -0,026        | 0,011              | -0,124**            |
| % Vto. 4°C.   | 0,084*        | 0,067*             | 0,061*              |
| Calma         | 0,008         | -0,050*            | -0,049*             |

Tabla 4.37. Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1991-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .

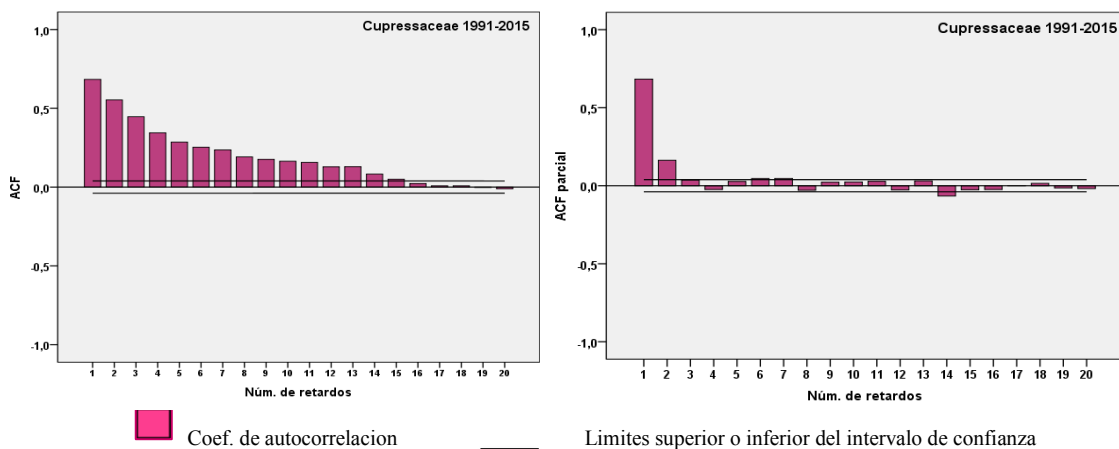


Figura 4.50. Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de las concentraciones medias diarias de polen de Cupressaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

#### 4.3.3.10. Modelos de pronóstico

Cuando se trata de explicar las concentraciones de polen de Cupressaceae observadas durante el pre-pico en función de los 12 parámetros meteorológicos considerados, el programa estadístico ofrece solamente dos modelos. De hecho, en el primer paso, se incluye las horas de sol como variable independiente mientras en el segundo paso se introduce el viento de segundo cuadrante como una segunda variable predictora de las concentraciones medias diarias de este tipo polínico. Ambos modelos presentan coeficientes de determinación muy bajos, pero estadísticamente son significativos (Tabla 4.38). La primera variable independiente presenta un signo positivo mientras la segunda fue de signo negativo. Este hecho indica un efecto positivo de las horas de sol y negativo del viento con dirección SE sobre las concentraciones polínicas de este tipo.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos           | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1a     | $Cup = 1,216 H.S + 10,455$                         | 0,010          | 0,000 |
| 2a     | $Cup = 1,246 H.S - 0,108 V_{to.2^\circ C} + 7,900$ | 0,013          | 0,000 |

**Tabla 4.38.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae durante el periodo pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1991-2015).

Sin embargo, cuando se incluye en el programa estadístico otras variables predictoras como la concentración polínica del día anterior y la D-media, se obtuvieron dos modelos significativos, y con coeficientes de determinación relativamente altos (Tabla 4.39). De hecho, la concentración del día anterior ( $Cup_{t-1}$ ) se incluye en el modelo en el primer paso, obteniéndose un coeficiente de determinación de 0,584. A continuación, en el segundo modelo, se observa que, a pesar de incorporar la D-media y las horas de sol, estas variables aportan muy poco en el siguiente modelo ( $R^2=0,606$ ), en el que la concentración del día anterior del polen de Cupressaceae, la D-media y las horas de sol que presentan un signo positivo.

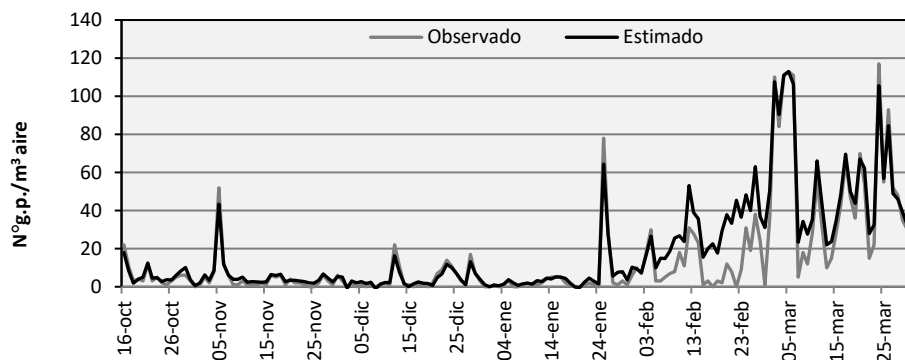
| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos                    | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|---|----------------|-------|
| 1b     | $Cup = 0,860 Cup_{t-1} + 3,697$                             | 0,584          | 0,000 |
| 2b     | $Cup = 0,778 Cup_{t-1} + 0,225 D_{med} + 0,368 H.S - 1,937$ | 0,606          | 0,000 |

**Tabla 4.39.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae durante el periodo de pre-pico en Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1991-2015).

#### ▪ Validación del mejor modelo

Para la validación del mejor modelo (modelo 2b) obtenido de las ecuaciones de regresión en aparatado anterior, se han comparado los recuentos de polen de Cupressaceae durante el pre-pico del año 2016 (observados) con los datos obtenidos (estimados) mediante la ecuación de regresión cuyo coeficiente de determinación  $R^2=0,606$ . La figura (4.51) indica el grado de asociación entre las concentraciones medias diarias de este tipo polínico y las estimadas.

La prueba estadística de *Spearman* revela una correlación significativa y altamente positiva entre los datos comparados, lo que coincide con el resultado obtenido de la prueba de *Wilcoxon*, indicando que no existen diferencias significativas entre los datos observados y estimados (Tabla 4.40).



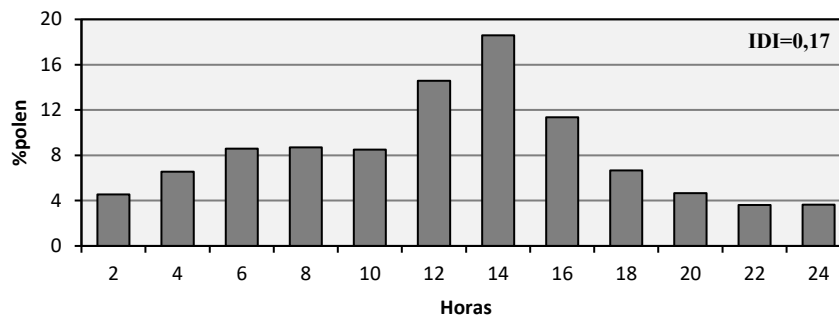
**Figura 4.51.** Concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 2b de la ecuación de regresión.

|   | <i>Spearman</i> Test |       | <i>Wilcoxon</i> Test |         |        |       |
|---|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|   | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 2b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,878                | 0,000 | 105                  | 92      | -2,397 | 0,087 |

**Tabla 4.40.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.3.11. Variación intradiaria

El patrón promediado de la dinámica intradiaria del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga mostró un incremento de los niveles a partir de las 10:00-12:00 horas, alcanzando un pico máximo a las 12:00-14:00 horas con 19% de la concentración diaria. Posteriormente, los niveles descendieron paulatinamente en las horas de la tarde para iniciar un ascenso progresivo a partir de la media noche. La media del índice de distribución intradiaria presentó un valor igual a  $0,17 \pm 0,11$  (Fig. 4.52), con valores que oscilaron entre 0,05 (2008) y 0,47 (1992), siendo sensiblemente más elevados durante los primeros años de la serie estudiada.



**Figura 4.52.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de Cupressaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Al estudiar la distribución intadiaria del polen de Cupressaceae de cada año, por separado, se observaron dos patrones diferentes. Así, se apreció un aumento de los niveles de polen entre las 12:00-14:00 horas durante el periodo 1992-2000, registrándose picos máximos comprendidos entre el 21% (1995) y 48% (1992) del total media diario para este periodo. Los valores del IDI en esos años fueron altos, variando entre 0,19 y 0,47. Por el contrario, se observó otro patrón algo diferente de la dinámica intradiaria de este tipo polínico entre los años 2000 hasta 2015, con registros inferiores al patrón promedio. Además, se observó un adelanto en la franja horaria en la que se producen las máximas concentraciones polínicas, con un incremento entre las 10:00 y las 12:00 horas, pudiéndose destacar los años 2003, 2007, 2008 y 2009 por presentar picos en las primeras horas de día los dos primeros, mientras los dos últimos lo hicieron en las horas de la tarde. Igualmente, también se observa un descanso de los valores de IDI, ya que oscilaron entre 0,05 y 0,13, a lo largo de este segundo periodo (Fig. 4.53).

#### 4.3.3.12. Discusión

La familia Cupressaceae incluye un gran número de especies que se cultivan como plantas ornamentales en el entorno urbano. Debido a la presencia de este tipo polínico en la atmósfera, muchos trabajos han estudiado la importancia del polen de esta familia en la atmósfera de distintos países mediterráneos como Portugal (Ramos *et al.*, 2000), Italia (Caiaffa *et al.*, 1993; Nardi *et al.*, 1996), España (Galán *et al.*, 1998a; Díaz de la Guardia *et al.*, 2006; Aira *et al.*, 2011; Sabariego *et al.*, 2012; Ocaña-Peinado *et al.*, 2013; Rodríguez de la Cruz *et al.*, 2015), Slovakia (Šcevková *et al.*, 2015), Marruecos (Afif *et al.*, 2006), Turquía (Sin *et al.*, 2008), entre otros. Durante el periodo de estudio (1991-2015), el polen de Cupressaceae ha sido el segundo tipo más abundante en la atmósfera de Málaga, con un índice polínico total medio de 5.581, lo que representa el 16,34 % del polen total anual.

La distribución de las concentraciones medias diarias del polen de este tipo muestra dos periodos de polinación bien definidos debido a la diferente época de floración que tienen las especies más abundantes que forman parte de esta familia de plantas en Málaga. Así, el primer periodo de polinación, que tiene lugar en invierno, es probablemente debido a la floración de *Cupressus sempervirens* y *Juniperus oxycedrus*, mientras que el segundo periodo puede estar favorecido por la floración del polen de *Cupressus arizonica*, que es usado habitualmente en Málaga como árbol ornamental.



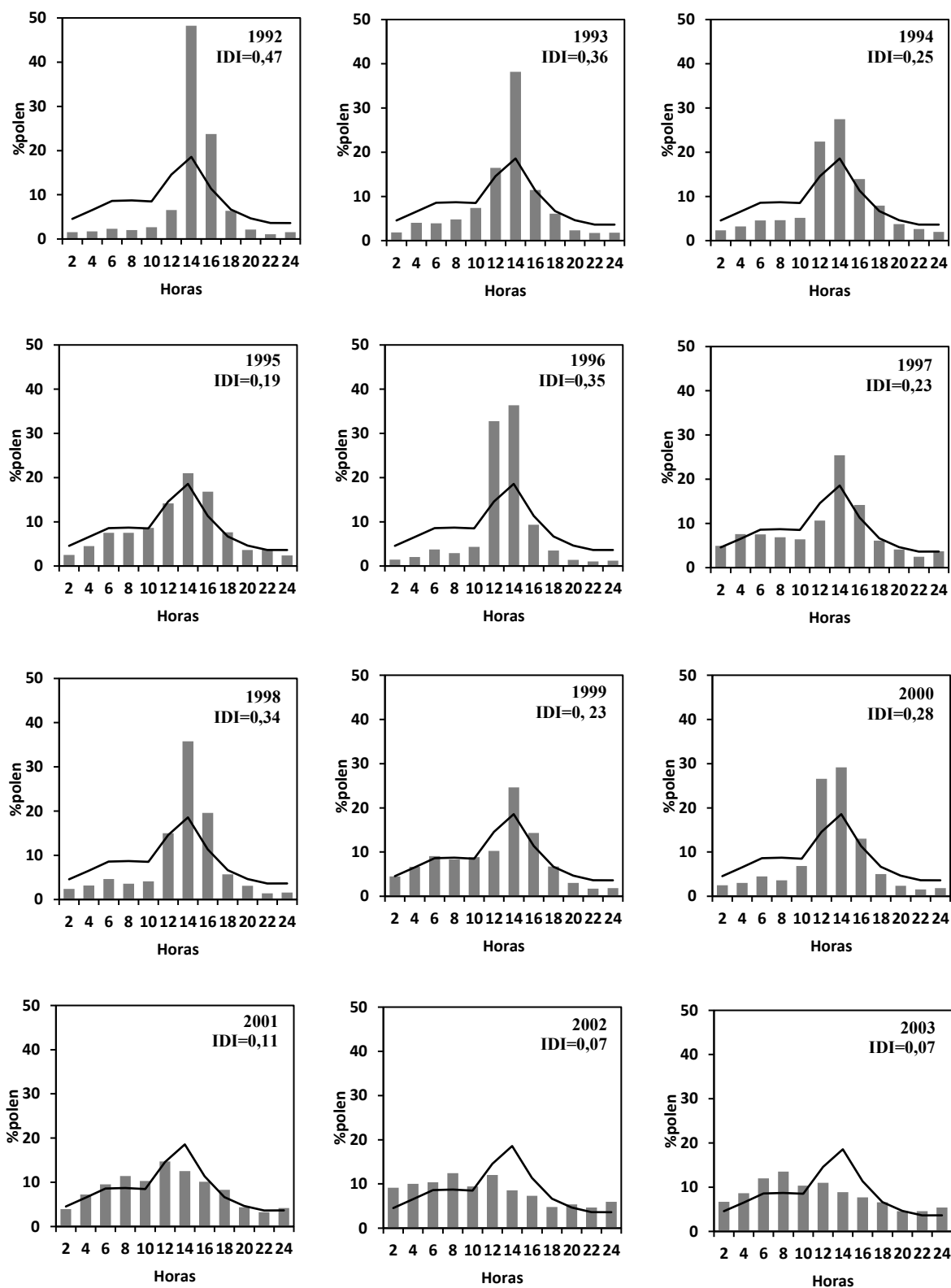


Figura 4.53. Variación intradiaria del polen de Cupressaceae para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

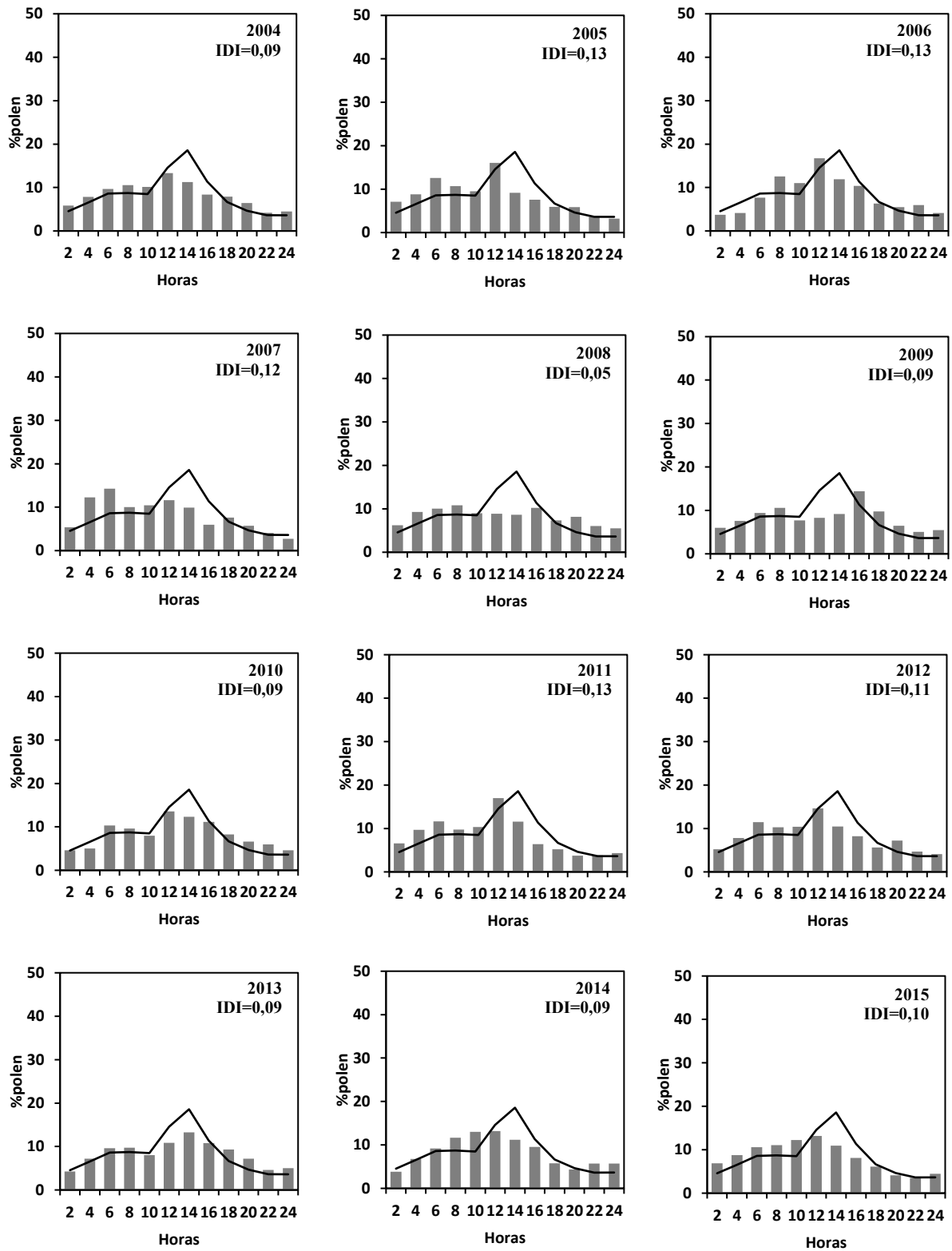


Figura 4.53. Continuación.



Este segundo pico también se observa en otras localidades, como es el caso de Murcia (Munuera *et al.*, 2002), Estepona (Toro, 1997), Nerja (Docampo, 2008).

El análisis del comportamiento del polen de Cupressaceae muestra una tendencia a la disminución de los índices polínicos anuales en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1991-2015). Este comportamiento ha sido observado también en otras localidades como Badajoz, Madrid y Santiago tras analizar la dinámica de este tipo polínico durante los años 1994-2013 (Galán *et al.*, 2016). En este mismo trabajo, los autores sugirieron que el patrón observado para del polen de Cupressaceae es debido al efecto que ejerce sobre las condiciones meteorológicas el índice NAO (North Atlantic Oscillation). Además, se ha demostrado que las precipitaciones están controladas, en parte, por la influencia de la NAO (Gallego *et al.*, 2005) y se ha puesto de manifiesto la relación entre la época y la intensidad de la floración y las diferentes fases de la NAO en Europa. De hecho, se ha observado una correlación significativa y negativa entre los IPAs de este tipo y el índice NAO de los meses previos a la floración de Cupressaceae, es decir, desde diciembre hasta febrero en Málaga (Galán *et al.*, 2016). Este hecho estaría justificado por la tendencia al descanso de las precipitaciones durante dichos meses observada en nuestra área de estudio durante el periodo 1991-2015 (Tabla 4.5). Todo ello confirma que los cambios en las precipitaciones en la región mediterránea, al igual que se observa en nuestra área de estudios, atribuidos al cambio climático, tienen un impacto importante sobre la fenología de las plantas, dando lugar a cambios en las concentraciones de polen en la atmósfera.

En lo que se refiere al comienzo de la estación polínica de Cupressaceae, se ha detectado un adelanto significativo. Esto coincide con lo que ha sido observado en otros estudios (Clot, 2003; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2003; Damialis *et al.*, 2007; Clot *et al.*, 2012), lo que sugiere que este comportamiento es consecuencia del aumento significativo de las temperaturas en los meses previos a la floración del ciprés. Por otra parte, el final del periodo de polinación principal mostró una tendencia positiva, además de estadísticamente significativa, lo que indica un retraso del final de la estación polínica del ciprés en Málaga. Esto explica el patrón observado en cuando a la duración del PPP de este tipo polínico ya que se aprecia un alargamiento significativo de este periodo. Díaz de la Guardia *et al.* (2006) explicaron que las condiciones meteorológicas previas y durante la floración influyen de manera significativa sobre la dinámica de la estación polínica del Cupressaceae, ya que las precipitaciones durante la floración promueven la prolongación del PPP aunque dan lugar a una menor intensidad de las concentraciones, hecho que coincide con lo que ha sido observado en Málaga tras estudiar la dinámica mensual de las precipitaciones, registrándose tendencias positivas de las precipitaciones durante los meses de marzo y abril.

El patrón de variación intradiaria mostró que las horas de máxima concentración de polen de Cupressaceae son las horas centrales del día (Fig. 4.52). Este patrón es muy similar al descrito en otros puntos de muestreo más o menos próximos como Granada (Díaz de la Guardia *et al.*, 2006), Nerja (Docampo, 2008), Córdoba (Galán *et al.*, 1991), Motril (Nieto-Lugilde, 2008), Badajoz (Fernández-Rodríguez *et al.*, 2014b) o Salamanca (Rodríguez de la Cruz *et al.*, 2015). Los valores de IDI fueron poco estables ya que se ha observado la existencia de dos periodos, caracterizándose este parámetro entre los años 1992-2000 con valores del IDI mayores, que variando entre 0,19 y 0,47, a los obtenidos en el periodo 2001-2015, oscilando en este último periodo entre 0,05 y 0,13 (Fig.4.53). Este diferente comportamiento pudiera estar relacionado con

el cambio de ubicación del captador de polen que tuvo lugar en el año 2000 y que ya se comentara en el caso de *Casuarina*.

En lo que a las correlaciones con los parámetros meteorológicos se refiere, la temperatura muestra un buen grado de asociación con las concentraciones de polen de Cupressaceae, al igual que se observó Nerja (Docampo, 2008), Córdoba (Galán *et al.*, 1998), y también en un estudio previo llevado a cabo por Melgar (2010) en Málaga. La correlación negativa de esta variable durante el post-pico se explica por el hecho de que durante este periodo las temperaturas aumentan a medida que las concentraciones polínicas están disminuyendo. Este periodo, al ser más largo que el pre-pico, influye también en el PPP completo. En cuanto a la dirección de los vientos, y como sucede con muchos otros tipos polínicos en Málaga, el viento de segundo ejerce un efecto negativo sobre las concentraciones polínicas del ciprés al proceder del mar, mientras que el del cuarto cuadrante muestra un efecto positivo sobre las concentraciones de polen del mismo, al arrastrar partículas desde zonas más interiores, lo cual promueve un incremento de los niveles de polen en la atmósfera de Málaga.

Los modelos de pronósticos obtenidos mediante la regresión múltiple por pasos confirman la influencia de la concentración del día anterior sobre la concentración media diaria de polen del día siguiente, al ser el primer parámetro empleado que llegó explicar por sí sólo el 58% de la variabilidad observada de las concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae. Posteriormente, gracias a su efecto favorable sobre la producción, liberación y dispersión de polen, la variable horas de sol se incluyó junto con la D-media en un modelo que mostró un coeficiente de determinación más elevado, igual a 0,606 (Tabla 4.39). Aunque el modelo que incluyó este conjunto de variables fue el más significativo, hay que destacar que todos lo fueron, a pesar de obtener coeficientes de determinación más bajos.

La validación del mejor modelo de pronóstico (modelo 2b) (Tabla 4.40) mediante ambas pruebas estadísticas muestra una alta correlación significativa entre los datos esperados y observados durante el año 2016 (Fig. 4.51). Por otra parte, la prueba de *Wilcoxon* convalida los resultados del test de *Spearman*, mostrando que no existen diferencias significativas entre los rangos de los datos comparados (Tabla 4.40). Por lo tanto, consideramos que, el modelo 2b se presenta adecuado para la predicción de las concentraciones medias diarias del polen de Cupressaceae durante el pre-pico.

El polen de Cupressaceae ha sido citado como uno de los principales aeroalérgenos de la región mediterránea ya que se ha comprobado que el porcentaje de la prevalencia en la población atópica del 35% en Italia (Papa *et al.*, 2001), del 19% en Francia (Calleja & Farrera, 2003; Caimmi *et al.*, 2012), del 32% en Israel (Geller-Bernstein *et al.*, 2000), del 13% en Marruecos, del 12% en Grecia (Gioulekas *et al.*, 2004) y del 11% en Túnez (Moral de Gregorio, 2003). En España, la tasa de sensibilización a los antígenos de este polen es muy variable, dependiendo de la población estudiada y en el grado de uso de las especies de esta familia, fundamentalmente cipreses, como ornamentales en parques y jardines. De hecho, la prevalencia de este tipo polínico está establecida como del 29% en Granada (De Inzaola, 2007), del 23% en Madrid y Jaén (Subiza, 1980; Ruiz, 2001), del 10% en Sevilla y del 7% en Málaga (Subiza, 1980), mientras que en otras localidades, sería muy baja con sólo 2% de los pacientes estudiados en Coruña o Almería

(Dopazo, 2001; Sabariego, 2003). A pesar del gran número de estudios citados, sería conveniente una actualización de los datos.

### 4.3.4. Tipo polínico Myrtaceae

Familia representada en Málaga por varias especies ornamentales de origen australiano, y una sola especie autóctona natural del Mediterráneo, *Myrtus communis* L. (Mirto). Aparte de esta última, las especies más frecuentes en Málaga son *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt y *E. globulus* Lindl.) (Trigo, 1992).

El eucalipto se planta como árbol ornamental en jardines y avenidas, y se ha empleado en repoblaciones forestales ya que sirve también para aprovechar de su madera. El mirto se encuentra en los sotobosques de pinares, encinares y alcornales, mostrando preferencia por los suelos síliceos.



#### 4.3.4.1. Descripción botánica

Árboles o arbustos, perennifolios. Hojas enteras, opuestas o alternas, simples, muy aromáticas. Flores, solitarias, hermafroditas, a veces unisexuales. Cáliz persistente y pétalos libres (en *Myrtus*) o soldados a los sépalos y formando un óperculo en la antesis (en *Eucalyptus*). Androceo con numerosas estambres. Gineceo con ovario ínfero. Frutos de tipo capsula de tamaño variable (en *Eucalyptus*) o baya redondeada y coronada por el cáliz persistente (en *Myrtus*).

#### 4.3.4.2. Periodo de floración/polinización

*Eucalyptus camaldulensis* florece en junio-julio, mientras que *E. globulus* que florece de octubre a marzo. *M. communis* florece de junio a agosto.

#### 4.3.4.3. Morfología polínica

Polen trizonosincolporado. Isopolar y radiosimétrico. Triangular en visión polar y elíptico en visión ecuatorial. Suboblado. Tamaño pequeño. Superficie psilada en las proximidades de las aberturas, y ligeramente escábrida en el resto. Los colpos, estrechos, tienen una disposición meridiana y se unen en los polos. Intina más delgada que la exina, aunque se engruesa debajo de las aberturas.

#### 4.3.4.4. Variación interanual

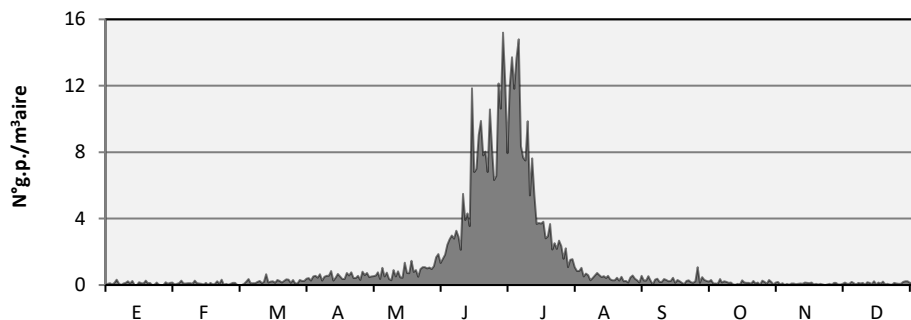
El polen de Myrtaceae representó 1,31% del índice polínico anual del periodo estudiado, ocupando la onceava posición en orden de abundancia. Como se puede apreciar en la tabla 4.41, el mayor IPA se alcanzó en el año 1997 (1.135) mientras que el menor se obtuvo en el año 2011 (120). Por otra parte, se observó que la contribución de este polen al espectro polínico fue variable, destacándose los porcentajes de 2,61% (año 1995), 2,41% (1992) y 2,24% (1994) como los de mayor aportación polínica, mientras que con 0,43% y 0,44%, los años 2011 y 2013, fueron los años de menor incidencia.

| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 534   | 2,41    | 26          |
| 1993  | 510   | 1,68    | 28          |
| 1994  | 611   | 2,24    | 26          |
| 1995  | 534   | 2,61    | 28          |
| 1996  | 410   | 0,96    | 27          |
| 1997  | 1.135 | 1,73    | 25          |
| 1998  | 408   | 1,19    | 27          |
| 1999  | 537   | 1,17    | 27          |
| 2000  | 394   | 1,21    | 27          |
| 2001  | 777   | 1,77    | 24          |
| 2002  | 170   | 0,54    | 26          |
| 2003  | 677   | 1,71    | 26          |
| 2004  | 291   | 1,16    | 25          |
| 2005  | 402   | 0,94    | 24          |
| 2006  | 343   | 1,27    | 26          |
| 2007  | 676   | 1,46    | 25          |
| 2008  | 346   | 1,08    | 27          |
| 2009  | 478   | 1,15    | 26          |
| 2010  | 257   | 0,63    | 25          |
| 2011  | 120   | 0,43    | 27          |
| 2012  | 431   | 1,46    | 28          |
| 2013  | 184   | 0,44    | 25          |
| 2014  | 303   | 0,74    | 27          |
| 2015  | 203   | 0,67    | 24          |
| Media | 447   | 1,32    | 26          |

**Tabla 4.41.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

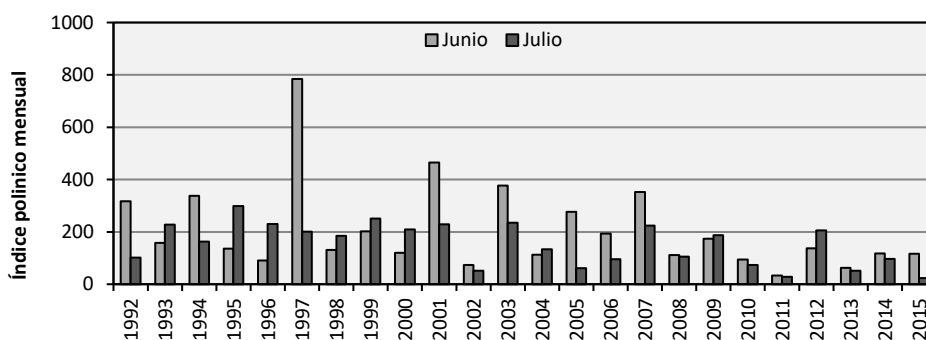
#### 4.3.4.5. Variación estacional

El patrón medio de la dinámica de las concentraciones medias diarias del polen de Myrtaceae durante el conjunto de los años estudiados, muestra que éste se detecta prácticamente durante todo el año, siendo los meses de junio y julio aquellos en los que se alcanzaron las mayores concentraciones en la atmósfera de Málaga. Por otra parte, la distribución del promedio de las concentraciones medias diarias de este tipo polínico se caracterizó por la presencia de dos picos consecutivos máximos al final del mes de junio y al principio del mes de julio, respectivamente, con un valor de 15 granos de polen/m<sup>3</sup>. A continuación, los niveles bajan drásticamente a partir de agosto en el que el polen aparece con concentraciones muy bajas o prácticamente nulas (Fig. 4.54). Por otra parte, se observa que las concentraciones máximas semanales de este tipo polínico se alcanzan en la semana 26, si bien, de forma general, entre las semanas 26 y 27 es cuando se detectan los mayores niveles del polen de Myrtaceae.



**Figura 4.54.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Durante los distintos años, se observa que los mayores valores mensuales se alcanzaron en los meses de junio y julio, habiendo tenido lugar en el mes de junio en un total de 15 de los años estudiados (Fig. 4.55). La media de los índices polínicos mensuales del mes de junio fue de 207, oscilando entre un mínimo de 33 (año 2011) y un máximo de 785 (año 1997). Sin embargo, los IPs registrados durante el mes de julio fueron más bajos, con una media de 153 variando entre 24 (año 2015) y 298 (año 1995).



**Figura 4.55.** Índices polínicos mensuales obtenidos en junio y julio para el tipo polínico Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Al considerar cada año por separado (Fig. 4.56), la evolución de las concentraciones medias diarias del tipo Myrtaceae presentan un comportamiento estable caracterizándose por un periodo de mayor actividad entre junio y julio, si bien aparecen varios picos de diferentes intensidades. Se observa que los picos de las concentraciones máximas de este tipo polínico se detectan casi siempre en la última semana del mes de junio o en la primera semana de julio, con pico máximo histórico de 121 g.p./m<sup>3</sup> (año 2005). Cabe destacar que se obtuvieron dos picos máximos de igual intensidad y con una diferencia temporal muy corta en los años 1996 (2 días), 1997 (7 días) y 2007 (15 días). Por otra parte, se registraron concentraciones medias diarias muy bajas y con picos máximos poco relevantes en los años 2002 (18 g.p./m<sup>3</sup>), 2006 (21 g.p./m<sup>3</sup>), 2008 (15 g.p./m<sup>3</sup>), 2009 (12 g.p./m<sup>3</sup>), 2010 (12 g.p./m<sup>3</sup>), 2011 (6 g.p./m<sup>3</sup>), 2013 (27 g.p./m<sup>3</sup>), 2014 (19 g.p./m<sup>3</sup>) y 2015 (21 g.p./m<sup>3</sup>), además con valores inferiores al patrón promedio del periodo 1992-2015.



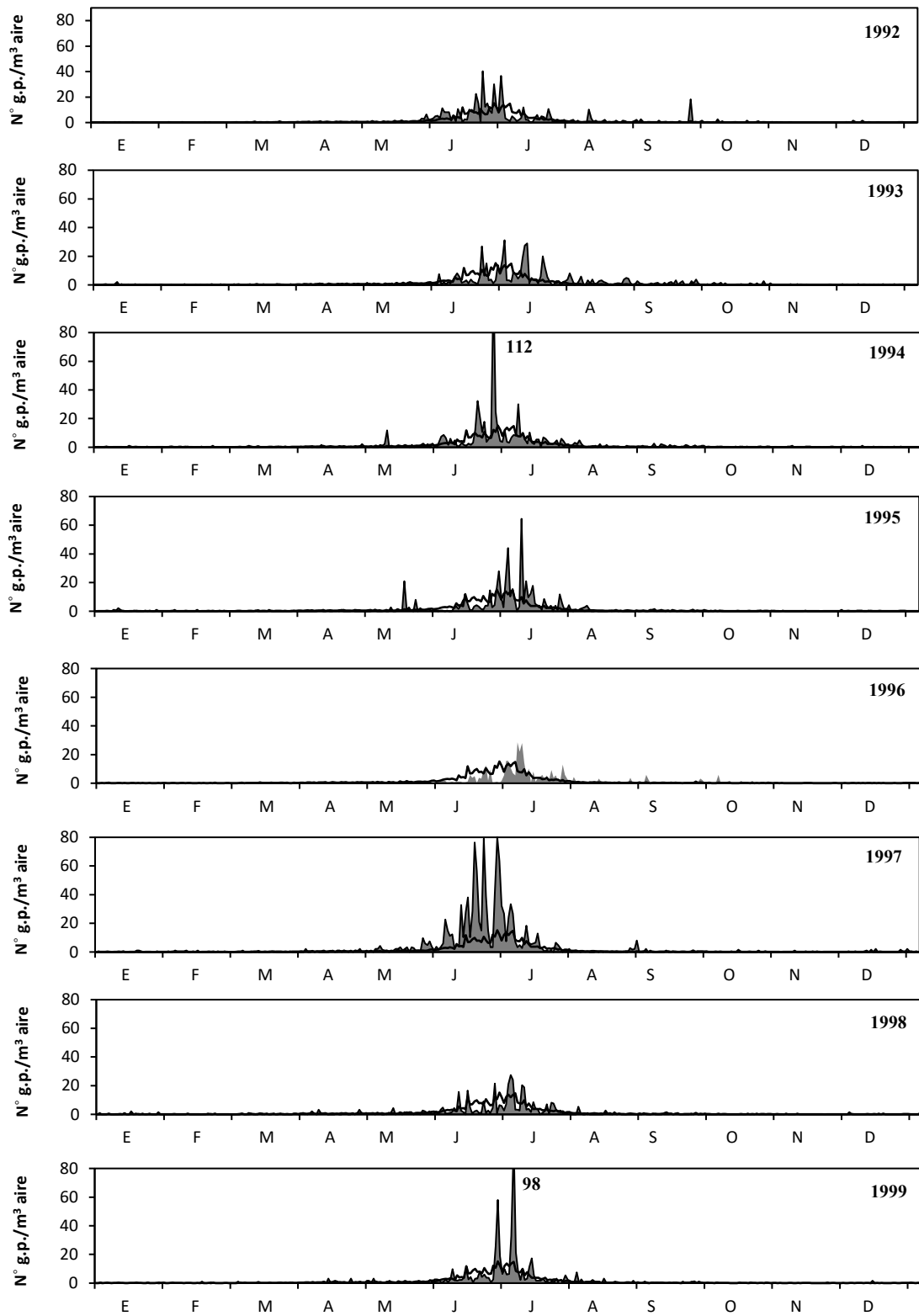


Figura 4.56. Concentraciones medias diarias de polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

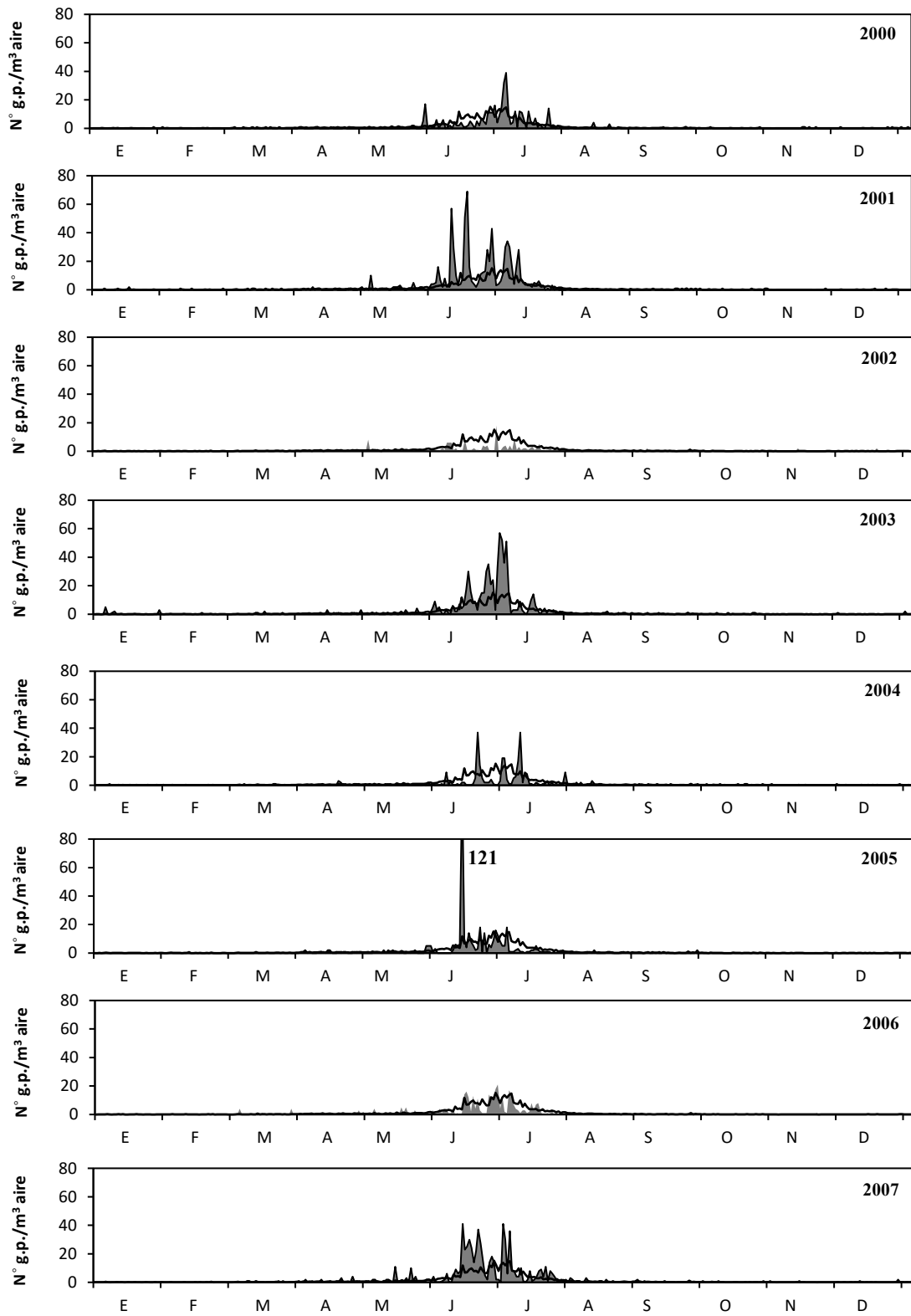


Figura 4.56. Continuación.

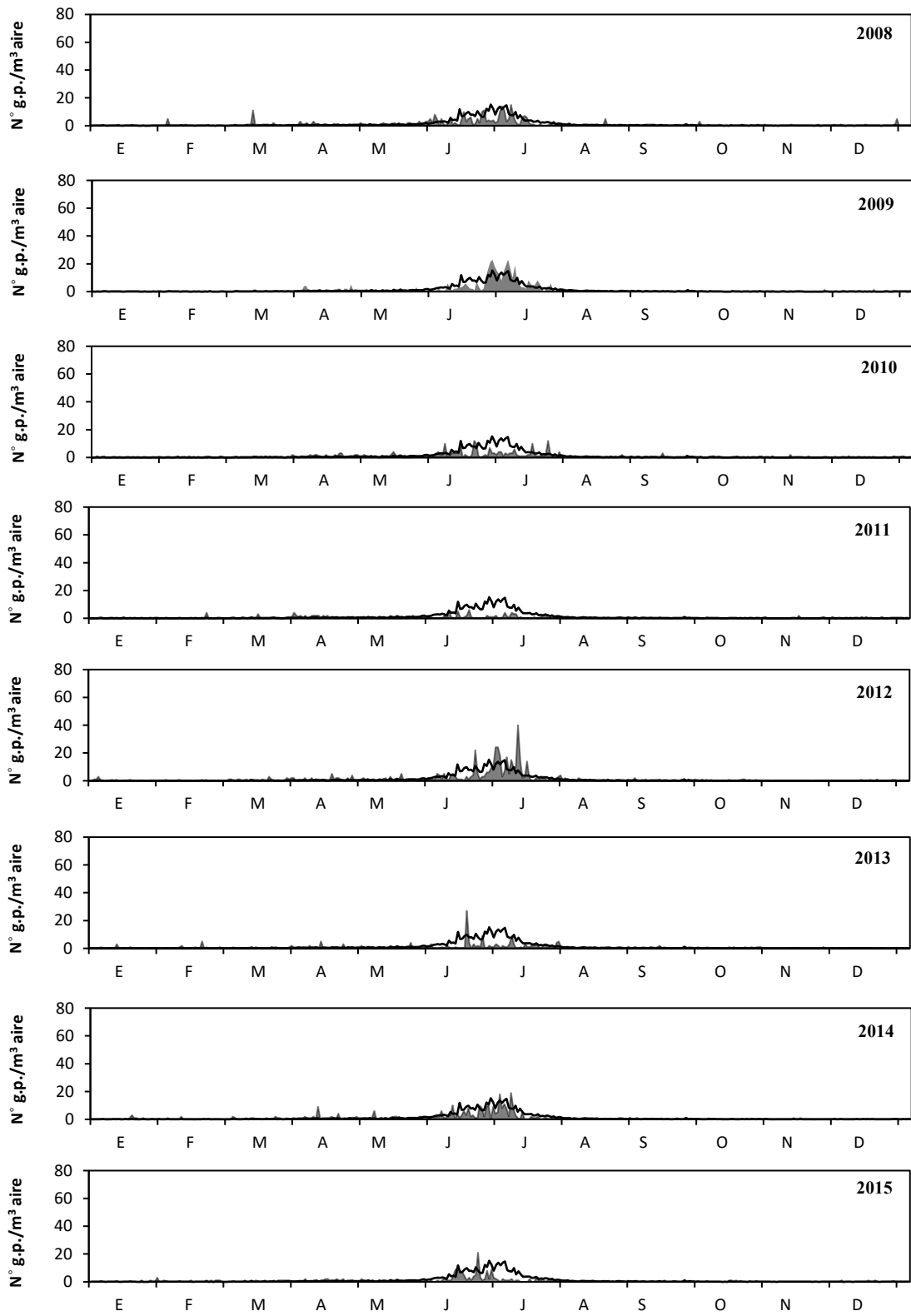


Figura 4.56. Continuación.

### 4.3.4.6. Periodo de polinación principal

Considerando el comportamiento de polen de Myrtaceae a lo largo de los años 1992-2015 (Tabla 4.42), se observa que el periodo de polinación principal fue muy largo con una duración media de 180 días, en el que se obtuvo un IPA promedio de 426, mostrando fechas promedio entre el día 30/03 como fecha de comienzo y el día 25/09 como fecha de final. Excepcionalmente, se observó que el comienzo de la estación se inició más temprano, en el mes de febrero, en los años 2011, 2013, 2014 y 2015 mientras que se registró una fecha del final del PPP más tardía alcanzando el mes de diciembre, en los años 2002 y 2009.

En lo que a la duración del PPP se refiere, se observó que ésta ha sido fluctuando entre un mínimo de 95 días (año 2001) y un máximo de 280 días (año 2011), registrando un índice polínico que oscila entre 116 (2011) y 1.082 (1997).

Con respecto al día pico, se ha calculado el 29 de junio como fecha promedio para el conjunto de los años, con una media de 44 granos de polen/m<sup>3</sup>, si bien los días picos se obtuvieron entre el 13 de junio y el 10 de julio, a excepción del año 1999 en el que la concentración máxima media diaria se detectó en el 28 de mayo.

Por otra parte, el valor del pico máximo presentó variaciones de un año a otro que oscilaron entre un máximo de 121 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2005), y un mínimo de 6 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2011).

Los periodos pre-pico del polen de mirtáceas tuvieron una duración promedio de 91 días, similar a la del periodo post-pico. De hecho, si nos fijamos en la duración del periodo pre-pico, por cada año, se puede ver que existían variaciones interanuales en los números de los días de este periodo que oscilaron entre 28 (año 1992) y 153 días (año 2014). Además, los índices polínicos registrados en el periodo pre-pico fueron diferentes, fluctuando entre 56 (año 2013) y 659 (1997), con 114 como valor medio. Por el contrario, los índices polínicos medios durante el periodo post-pico fueron de 112, siendo el valor máximo alcanzado de 478 durante el año 2001, mientras el mínimo fue de 48, obtenido durante el año 2011.

## Resultados

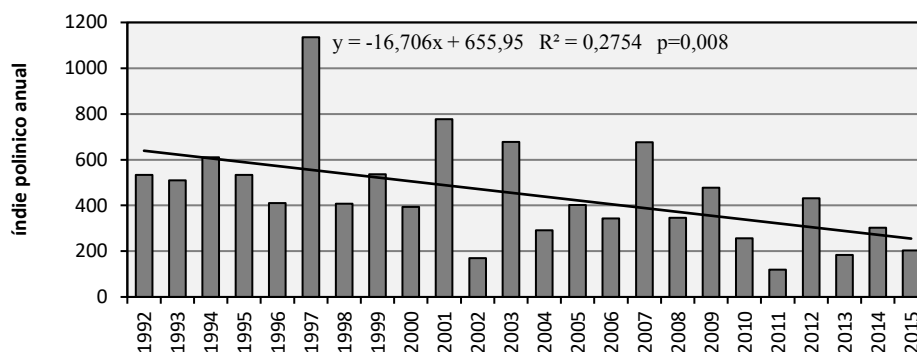
| Año              | PPP (95%)                     |            |               | Valores máximos    |  | Pre-pico  |               | Post-pico |               |
|------------------|-------------------------------|------------|---------------|--------------------|--|-----------|---------------|-----------|---------------|
|                  | Periodo<br>Inicio-Final       | Duración   | Total<br>(IP) | Día pico           | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración  | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992             | 25-05 (146)/11-10 (285)       | 140        | 509           | 22-06 (174)        | 40                                     | 28        | 166           | 112       | 343           |
| 1993             | 22-04 (113)/05-10 (279)       | 167        | 487           | 01-07 (182)        | 31                                     | 70        | 176           | 97        | 311           |
| 1994             | 18-04 (109)/25-09 (269)       | 161        | 581           | 25-06 (177)        | 112                                    | 68        | 210           | 93        | 371           |
| 1995             | 09-04 (100)/08-09 (252)       | 153        | 508           | 08-07 (190)        | 64                                     | 90        | 357           | 63        | 151           |
| 1996             | 26-04 (117)/17-10 (291)       | 175        | 390           | 07-07 (189)        | 28                                     | 73        | 196           | 102       | 194           |
| 1997             | 27-04 (118)/28-08 (241)       | 125        | 1.082         | 27-06 (179)        | 80                                     | 61        | 659           | 64        | 423           |
| 1998             | 05-03 (65)/09-09 (253)        | 189        | 389           | 02-07 (184)        | 27                                     | 119       | 207           | 70        | 182           |
| 1999             | 16-04 (107)/26-08 (239)       | 133        | 511           | 04-07(186)         | 98                                     | 79        | 278           | 54        | 233           |
| 2000             | 03-04 (94)/25-10 (299)        | 206        | 376           | 04-07 (186)        | 39                                     | 92        | 210           | 114       | 166           |
| 2001             | 18-04 (109)/22-07 (204)       | 95         | 739           | 16-06 (168)        | 69                                     | 57        | 261           | 37        | 478           |
| 2002             | 22-03 (82)/04-12 (339)        | 258        | 162           | 28-06 (180)        | 18                                     | 98        | 80            | 160       | 82            |
| 2003             | 25-03 (85)/10-08 (223)        | 140        | 644           | 30-06 (182)        | 57                                     | 97        | 351           | 43        | 293           |
| 2004             | 18-04 (109)/05-10 (279)       | 171        | 280           | 08-07 (190)        | 37                                     | 81        | 181           | 90        | 99            |
| 2005             | 14-04 (105)/11-08 (224)       | 121        | 384           | 13-06 (165)        | 121                                    | 60        | 65            | 61        | 319           |
| 2006             | 28-03 (88)/24-07 (206)        | 119        | 330           | 28-06 (180)        | 21                                     | 92        | 200           | 27        | 130           |
| 2007             | 25-04 (116)/13-08(226)        | 111        | 643           | 13-06 (165)        | 41                                     | 58        | 94            | 53        | 52            |
| 2008             | 12-03 (72)/20-11 (325)        | 254        | 329           | 06-07 (188)        | 15                                     | 116       | 236           | 138       | 93            |
| 2009             | 22-03 (82)/07-12 (342)        | 261        | 455           | 27-06 (179)        | 23                                     | 97        | 163           | 164       | 292           |
| 2010             | 16-03 (76)/30-10 (304)        | 229        | 245           | 19-06 (171)        | 12                                     | 95        | 111           | 134       | 134           |
| 2011             | 22-02 (53)/27-11 (332)        | 280        | 116           | 18-06 (170)        | 6                                      | 117       | 68            | 163       | 48            |
| 2012             | 14-03 (74)/19-08 (232)        | 159        | 411           | 10-07 (192)        | 40                                     | 118       | 308           | 41        | 103           |
| 2013             | 10-02 (41)/19-10 (293)        | 253        | 176           | 17-06 (169)        | 27                                     | 128       | 56            | 125       | 120           |
| 2014             | 04-02 (35)/28-07 (210)        | 176        | 289           | 06-07 (188)        | 19                                     | 153       | 239           | 72        | 50            |
| 2015             | 03-02 (34)/13-10 (286)        | 253        | 193           | 23-06 (174)        | 21                                     | 140       | 114           | 112       | 79            |
| <b>1992-2015</b> | <b>30-03 (89)/25-09 (268)</b> | <b>180</b> | <b>426</b>    | <b>29-06 (180)</b> | <b>44</b>                              | <b>91</b> | <b>208</b>    | <b>91</b> | <b>198</b>    |

**Tabla 4.42.** Indicadores del polen de Myrtaceae en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).

## 4.3.4.7. Estudio de tendencias

## ▪ Índice polínico anual

La figura 4.57 indica que los índices polínicos anuales de Myrtaceae presentan un patrón irregular con grandes altibajos y registros que varían de un año a otro. Tras la realización del análisis de la dinámica de este tipo polínico con la prueba de *Mann-Kendall*, se observa que los IPAs presentan una tendencia negativa y estadísticamente significativa, como se refleja también en la ecuación de regresión. Por otra parte, la pendiente de *Sen* ha sido igual a -15,16 (Tabla 4.43).



**Figura 4.57.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen Myrtaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,417            | 0,005 | -15,16           |

**Tabla 4.43.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

▪ Niveles del polen de *Myrtaceae*

En la tabla 4.44, se muestran los resultados de la evolución del número de días en que se registran diferentes niveles de las concentraciones de polen de Myrtaceae en la atmósfera de Málaga según la categoría del grupo 3 establecido por la REA (Galán et al., 2007). De hecho, se observa que este polen se encuentra en la atmósfera durante un periodo prolongado ya que los días con niveles nulos (<1 granos de polen/m<sup>3</sup>) tuvieron una media de 268 (±19) y fluctuaron entre los 209 y 296 días. Por otra parte, los niveles bajos, es decir, comprendidos entre 1-30 granos de polen/m<sup>3</sup> presentaron una media de 95 (±20). En cuanto a las dos categorías con niveles moderados y altos, se observa que la media fue de tan sólo 1 día en ambos casos. Asimismo, se puede observar que el número de días con niveles moderados fue de 6 en total, mientras los días con niveles altos fueron de 5. Cabe señalar que, debido al escaso número de días con niveles moderados y altos de este tipo polínico en el aire durante los 24 años de estudio, se obtuvieron coeficientes de variación elevados de 141% y 196% respectivamente.

| Niveles                           | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1g.p./m <sup>3</sup>     | 209    | 296    | 268   | 19           | 7      |
| Nº días 1-30 g.p./m <sup>3</sup>  | 70     | 157    | 95    | 20           | 21     |
| Nº días 31-50 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 6      | 1     | 2            | 141    |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 5      | 1     | 1            | 196    |

Tabla 4.44. Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de Myrtaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

El análisis estadístico del comportamiento del número de días en función de los niveles de polen de Myrtaceae muestra una tendencia negativa pero no significativa para el número de días sin granos de polen (<1 granos de polen/m<sup>3</sup>). Del mismo modo, se ha observado una tendencia negativa y no significativa del número de días con la categoría 31-50 granos de polen/m<sup>3</sup> y también con la categoría >50 granos de polen/m<sup>3</sup>, lo que indica un descenso del número de días con esos niveles. Por lo contrario, según el test de *Mann-Kendall*, se observó una tendencia significativa y positiva en el número de días con niveles moderados, hecho que contradice el análisis de la tendencia mediante ecuación de regresión (Tabla 4.45, Fig. 4.58).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,162            | 0,285 | -0,51            |
| Nº días 1-30 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,179             | 0,233 | 0,52             |
| Nº días 31-50 g.p./m <sup>3</sup>  | -0,328            | 0,044 | 0                |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>    | -0,299            | 0,076 | 0                |

Tabla 4.45. Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen Myrtaceae, en la atmósfera Málaga (1992-2015).

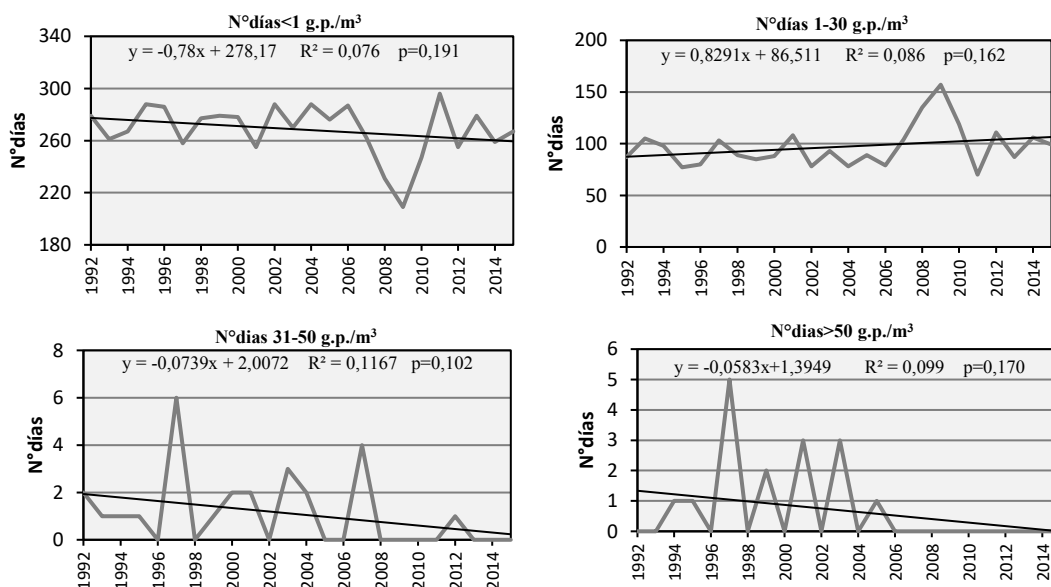
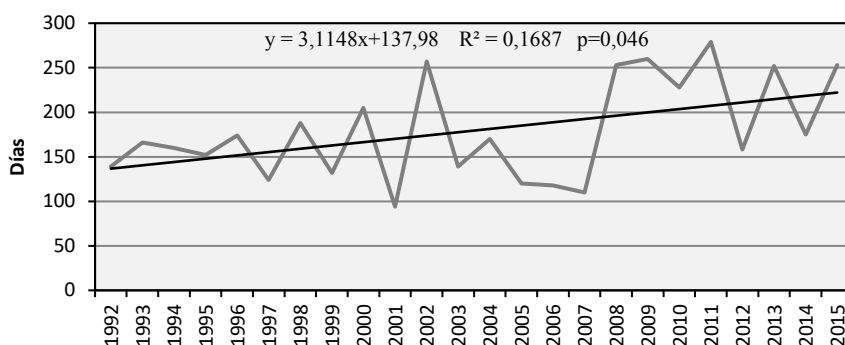


Figura 4.58. Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de Myrtaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

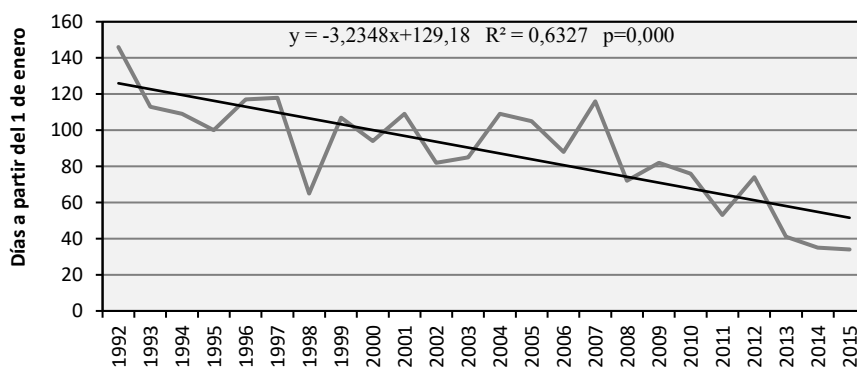
▪ **Parámetros del PPP**

El análisis de la dinámica de la **duración del periodo de polinación principal** del polen de Myrtaceae a lo largo de los años estudiados, muestra una tendencia al alargamiento del mismo, estadísticamente no significativa según el test de *Mann-Kendall* ( $Z=0,247$ ;  $p=0,096$ ) (Tabla 4.46), pero con coeficiente de determinación significativo. De hecho, la duración del PPP de este tipo polínico tuvo un patrón poco estable, con unos periodos muy largos, superando los 250 días durante los años 2002, 2008, 2009, 2011, 2013 y 2015, mientras que tuvo otros mucho más cortos, de 95 (año 2001) y 111 días (año 2007), por lo que se ha obtenido un porcentaje de variación de 30% (Fig. 4.59). La pendiente de *Sen* revela, así mismo una pendiente positiva con un valor igual a 3,97.



**Figura 4.59.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

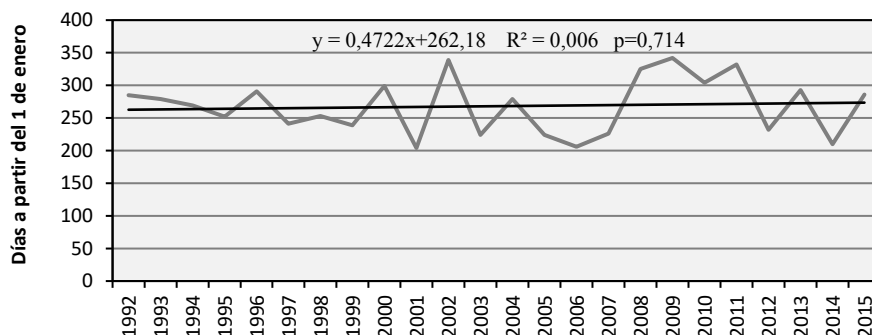
En cuando al **inicio de la estación** polínica de Myrtaceae, se puede observar que el porcentaje de las fluctuaciones fue del 33%, mostrando que existen variaciones en cuanto a esas fechas de inicio (Fig. 4.60). De hecho, la prueba de *Mann-Kendall* revela una tendencia negativa y estadísticamente significativa ( $Z=-0,620$ ;  $p<0,0001$ ) indicando una tendencia al adelantamiento del comienzo de la estación del polen de Myrtaceae en Málaga. Esta misma tendencia se observa en el estudio de regresión. El resultado de la pendiente de *Sen* obtenido para la dinámica del comienzo del PPP de este tipo mostró un valor de signo negativo igual a -3,33 (Tabla 4.46).



**Figura 4.60.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

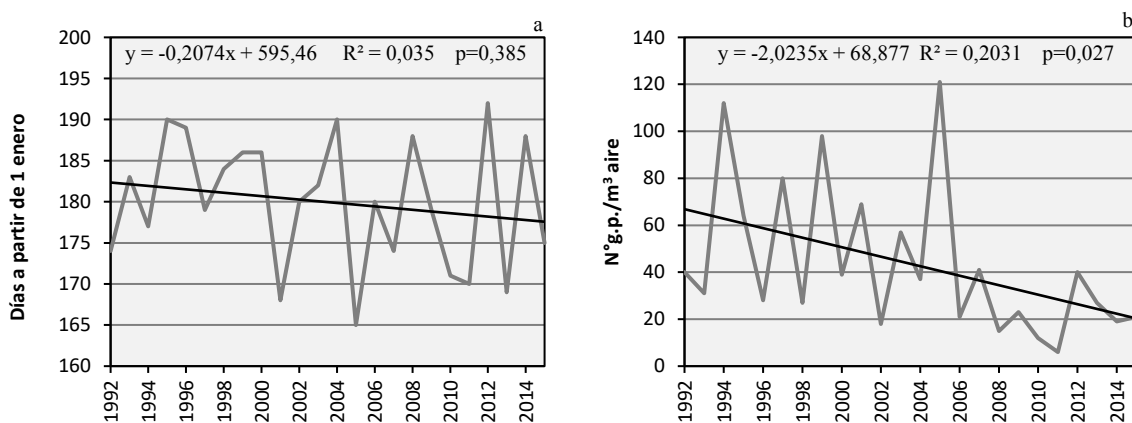


En cuanto al **final de la estación**, el análisis realizado mediante la prueba de *Mann-Kendall*, así como con el estudio de regresión, revelan que existe una muy ligera tendencia al retraso, no significativa, para el tipo polínico *Myrtaceae* (Tabla 4.46). La fecha del final de la estación mostró un patrón más estable que la fecha de inicio, con un porcentaje de variación del 15% (Fig.4.61). La tendencia observada, obtuvo un valor de la pendiente de *Sen* de 0,08.



**Figura 4.61.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Myrtaceae* en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Analizando la dinámica referente al **día pico**, se observa una tendencia al adelanto de la fecha del mismo, aunque no ha sido significativa ( $Z=-0,117$ ;  $p=0,441$ ) (Tabla 4.46). Por otra parte, se observó una tendencia no significativa al descanso de los valores de concentraciones máximas del polen de *Myrtaceae*, las cuales mostraron grandes variaciones durante los años estudiados, con un coeficiente de variación del 71%. El valor de la pendiente de *Sen* mostrándose la dinámica del día pico fue de -0,23 mientras que para el valor pico fue igual a -1,58 (Fig. 4.62).



**Figura 4.62.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del polen de *Myrtaceae* (a) y valor de la concentración del mismo (b) en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |         | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|---------|------------------|
|              | Z                 | Sig.    | Q                |
| Inicio PPP   | -0,620            | <0,0001 | -3,33            |
| Final PPP    | 0,015             | 0,941   | 0,08             |
| Duración PPP | 0,247             | 0,096   | 3,97             |
| Día pico     | -0,117            | 0,441   | -0,23            |
| Valor pico   | -0,383            | 0,010   | -1,58            |

**Tabla 4.46.** Resumen de los resultados del análisis del test de *Mann-Kendall* y la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Myrtaceae* en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.4.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

Los análisis de correlaciones pusieron de manifiesto el efecto positivo de las temperaturas (máximas, medias, mínimas) sobre las concentraciones del polen de *Myrtaceae* durante el PPP completo. También, se observaron coeficientes de correlación significativos y positivos con las horas de sol y la velocidad media del viento. Con las precipitaciones y la humedad relativa aparecieron correlaciones significativas y negativas, al igual que con la dirección del viento del segundo cuadrante, mientras con el viento del cuarto cuadrante se obtuvieron coeficientes de correlaciones significativos y positivos.

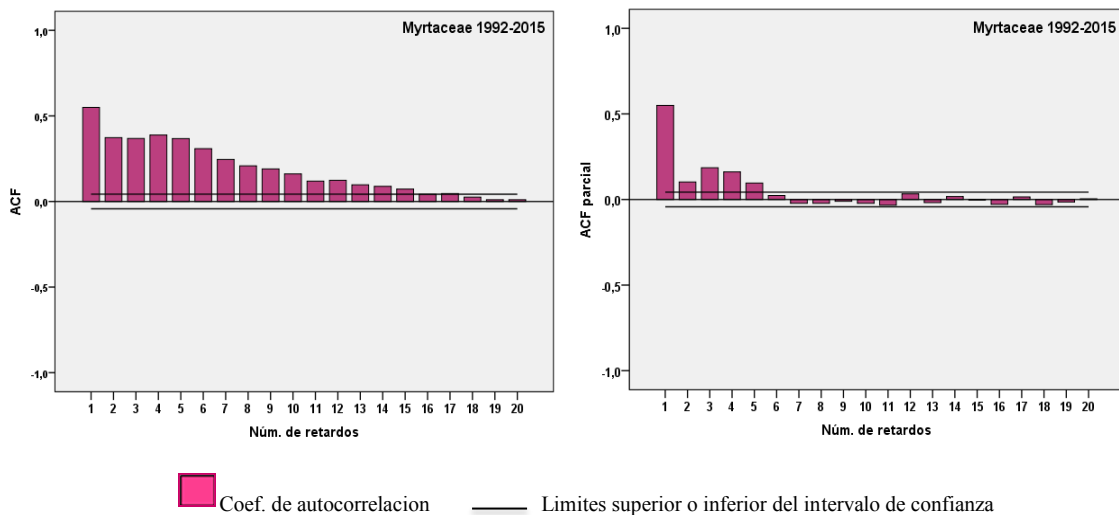
A considerar el periodo pre-pico, se observa un patrón similar al del periodo del PPP en su conjunto, si bien no se obtuvieron coeficientes de correlación significativos con la humedad relativa, las horas de sol y la velocidad media del viento. Con respecto al periodo de post-pico, aparecen coeficientes de correlación significativos y negativos con las temperaturas, patrón que se manifestó de forma similar con la mayoría de los taxones durante este periodo, mientras que para el resto de los parámetros meteorológicos los resultados fueron similares a los del periodo pre-pico (Tabla 4.47).

#### 4.3.4.9. Análisis de autocorrelaciones

Como se observa en la figura 4.63, los análisis de autocorrelaciones sobre la propia serie de datos muestran un número muy altos de retardos significativos, con un total de 15, entre ellos, la concentración el día anterior presenta un mayor índice, siendo la que mostró un mayor grado de asociación con las concentraciones medias diarias. Por lo contrario, al realizar las autocorrelaciones parciales, se observa que los números de retardos significativos disminuye, llegando a un total de 5, siendo el día anterior el que vuelve a aparecer con coeficiente significativo más elevado, mientras que los demás obtuvieron valores más bajos, por lo cual se optó por elegirlo como variable independiente para incluirla en los modelos de pronóstico.

|                          | PPP<br>N=4372 | Pre-pico<br>N=2092 | Post-pico<br>N=2280 |
|--------------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,139**      | 0,021              | -0,117**            |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | 0,310***      | 0,067**            | -0,080**            |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | 0,278**       | 0,050*             | -0,141**            |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | 0,233**       | 0,047*             | -0,164**            |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,260**      | 0,011              | 0,019               |
| <b>Horas de Sol</b>      | 0,294**       | -0,010             | -0,023              |
| <b>V. med vt.</b>        | 0,048*        | 0,013              | -0,034              |
| <b>% Vto. 1°C.</b>       | 0,010         | 0,032              | 0,045               |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,036*       | -0,108**           | -0,060**            |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | 0,021         | 0,027              | 0,022               |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,032*        | 0,069**            | 0,073**             |
| <b>Calma</b>             | -0,023        | -0,008             | -0,010              |

**Tabla 4.47.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los períodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .



**Figura 4.63.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de las concentraciones medias diarias de polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga (1992-2015).

## 4.3.4.10. Modelos de pronósticos

Cuando se trata de explicar las concentraciones de polen de Myrtaceae durante el pre-pico en función de los parámetros meteorológicos mediante regresión múltiple por pasos, obtenemos cuatro modelos significativos, si bien los valores de los coeficientes de determinación fueron muy bajos (Tabla 4.48). El primer modelo se incluye la temperatura máxima como única variable independiente, obteniéndose un coeficiente de determinación de 0,022. En cuando al segundo paso, se incluyó el viento del cuarto cuadrante como otra variable predictora pero tampoco se consiguió mejorar el modelo en términos  $R^2$ , ya que se obtuvo un valor de 0,031. Con el cuarto paso, se obtuvo un modelo de regresión múltiple que incluye las variables temperatura máxima, viento del cuarto cuadrante, la temperatura mínima y el viento del segundo cuadrante, lo cual consigue elevar el coeficiente de determinación a sólo a 0,039. Todas las variables presentan un signo positivo, excepto el viento del segundo cuadrante, que participa en la ecuación con signo negativo, poniendo de manifiesto la influencia negativa sobre las concentraciones de polen de Myrtaceae en la atmósfera de Málaga.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | $R^2$ | p     |
|--------|--|-------|-------|
| 1a     | $Myr=0,196 T^a \max-2,428$   | 0,022 | 0,000 |
| 2a     | $Myr=0,186 T^a \max+0,020Vto^{\circ}.4C -3,145$  | 0,031 | 0,000 |
| 3a     | $Myr=0,127 T^a \max +0,023Vto^{\circ}.4C +0,140 T^a \min-3,879$                        | 0,037 | 0,000 |
| 4a     | $Myr= 0,119 T^a \max +0,015Vto^{\circ}.4C +0,151 T^a \min-0,014 Vto^{\circ}.2C -3,100$ | 0,039 | 0,000 |

**Tabla 4.48.** Mejores modelos obtenidos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de Myrtaceae durante el periodo pre-pico en la atmósfera Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).

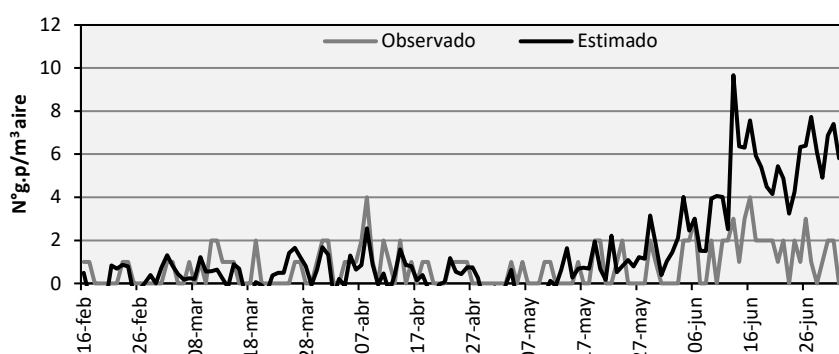
Al incorporar, en el proceso de regresión múltiple por pasos, la concentración del día anterior ( $Myr_{t-1}$ ) y la D-media como nuevas variables independientes, se obtuvieron como resultado otros cuatro modelos que presentaron un mejor ajuste (Tabla 4.49). En el primer paso, se incorpora la concentración del día anterior al modelo como única variable independiente, así el coeficiente de determinación llega a alcanzar un valor de 0,346. En el segundo paso, el modelo muestra una mejora tras incluir también la D-media, dando lugar a un aumento del  $R^2$ . Por último, tras el paso final, se obtuvo un modelo incluyendo la concentración del día anterior, la D-media, la temperatura máxima y el porcentaje del viento del cuarto cuadrante, alcanzándose el mayor valor de  $R^2$  de todos los registrados anteriormente.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos                                    | $R^2$ | p     |
|--------|---|-------|-------|
| 1b     | $Myr= 0,632 Myr_{t-1}+0,960$  | 0,346 | 0,000 |
| 2b     | $Myr=0,482 Myr_{t-1}+0,493Dmed+0,092$                                       | 0,418 | 0,000 |
| 3b     | $Myr=0,472 Myr_{t-1}+0,493 Dmed+0,122 T^a \max-2,836$                       | 0,426 | 0,000 |
| 4b     | $Myr=0,468 Myr_{t-1}+0,496 Dmed+0,113 T^a \max+0,018 Vto^{\circ}.4C -3,463$ | 0,433 | 0,000 |

**Tabla 4.49.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para la concentración del polen de Myrtaceae en el periodo de pre-pico en la atmósfera Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior ( $t-1$ ) durante los años estudiados (1992-2015).

▪ Validación del mejor modelo

Para finalizar con la validación del mejor modelo de pronóstico obtenido en el apartado anterior, se realizaron una serie de pruebas entre los datos estimados y los observados para el año 2016. En la figura 4.64 se muestra el grado de asociación entre las concentraciones medias diarias del polen de Myrtaceae registradas en el año 2016 (observadas) y las estimadas en función de la mejor ecuación de regresión (modelo 4b) obtenida de los modelos de pronóstico en el apartado anterior. Para ellos, se ha efectuado la prueba de *Spearman* entre las dos series de concentraciones polínicas (valores medios diarios), obteniéndose un coeficiente de correlación estadísticamente significativo de 0,405 que confirma una cierta asociación. Sin embargo, esto se contradice con lo observado al realizar la prueba de *Wilcoxon*, indicando que existen diferencias significativas entre los datos comparados (Tabla 4.50).



**Figura 4.64.** Concentraciones medias diarias del polen de Myrtaceae durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 4b de la ecuación de regresión.

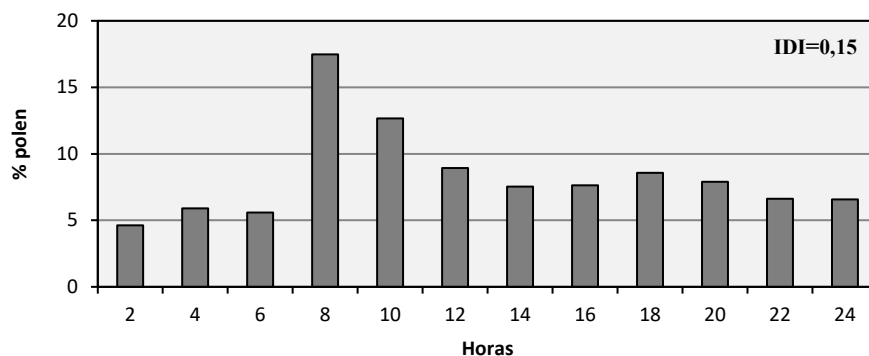
|   | <i>Spearman Test</i> |       | <i>Wilcoxon Test</i> |         |        |       |
|---|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|   | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 4b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,405                | 0,000 | 42                   | 57      | -3,001 | 0,003 |

**Tabla 4.50.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido de las ecuaciones de regresión.

4.3.4.11. Variación intradiaria

Durante el periodo estudiado (1992-2015), el modelo del patrón promedio de la distribución intradiaria del polen de Myrtaceae presentó un pico máximo de las concentraciones de polen en la franja horaria de 06:00-08:00 horas, con más del 18% del polen diario. El valor medio de IDI fue igual a 0,15 (Fig. 4.65).





**Figura 4.65.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de Myrtaceae en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Las curvas de los distintos años, presentaron un patrón similar al promediado con un comportamiento bastante estable, registrándose las concentraciones máximas por la mañana, en torno a las 8:00 horas. Sin embargo, aparecieron valores diferentes de los picos máximos registrados en esta franja horaria, destacando los años 2004 y 2005, con 23,76% y 47,1% del polen diario, respectivamente, con valores de IDI muy altos (0,22 y 0,45, respectivamente) (Fig. 4.66).

#### 4.3.4.12. Discusión

La familia de Myrtaceae se compone de alrededor de 150 géneros de destacada relevancia ecológica y económica en todo el mundo (Govaerts *et al.*, 2008). Tiene centros de diversidad en Sudamérica, Asia tropical, África y Europa siendo Australia donde esta familia presenta su mayor centro de diversificación y su polen aparece entre los tipos más abundantes (Stevenson *et al.*, 2007; Green *et al.*, 2004b). En la zona mediterránea, este taxón incluye tanto especies autóctonas, como *Myrtus communis*, junto a otras de origen australiano usadas en repoblaciones forestales, bordes de ríos, pero que también se emplean como ornamentales en jardines y avenidas.

En la Península Ibérica, el polen de Myrtaceae aparece en niveles bajos o moderados, si bien es en Andalucía donde se alcanzaron los niveles más importantes de toda la península. Así, se registraron índices polínicos anuales de 182 en Nerja (Docampo, 2008), 378 en Motril (Nieto-Lugilde, 2008), 433 en Sevilla (Caudau *et al.*, 2002b), 552 en Cádiz (Candau *et al.*, 2002a) mientras en nuestra área de estudio se obtuvo un valor del índice polínico anual medio de 447, para este tipo polínico.

Como ya se ha comentado anteriormente, este tipo polínico se caracterizó por una gran irregularidad en los registros anuales, mostrando muy a menudo un comportamiento bianual (Tabla 4.41). Esto coincide con lo observado en otras localidades como Vigo (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2000) y Nerja (Docampo, 2008).

La duración media del PPP fue de 180 días, comenzando a finales de marzo y hasta finales de septiembre, pero si fijamos en las gráficas de la distribución de las concentraciones medias diarias, observamos que las mayores concentraciones se detectaron en junio y julio. Periodos de polinación similares se han descrito en otras localidades como Almería (Sabariego, 2003) y Nerja (Docampo, 2008).

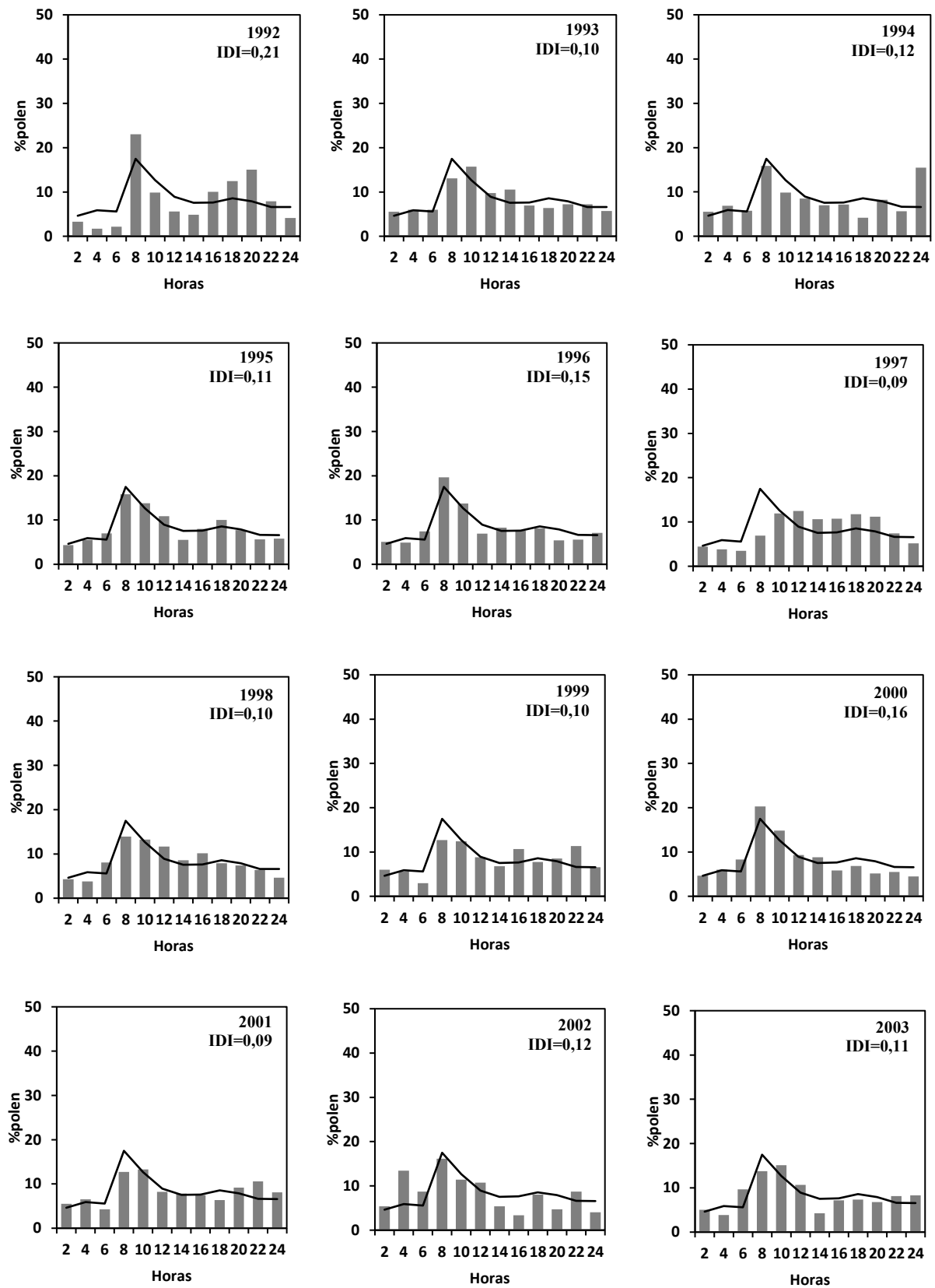


Figura 4.66. Variación intradiaria del polen de Myrtaceae para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

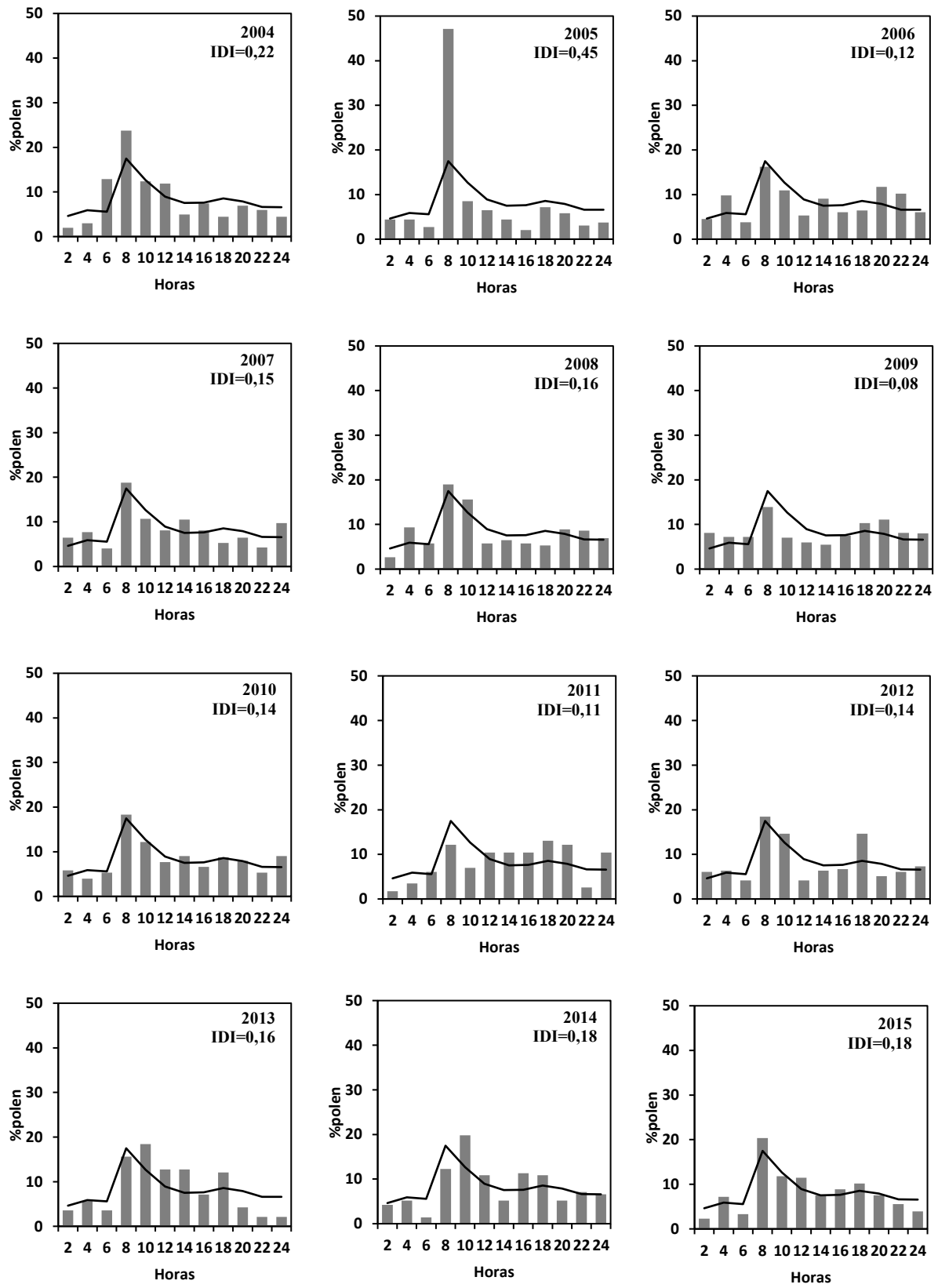


Figura 4.46. Continuación.





En cuanto a lo que a la tendencia del polen de Myrtaceae en la atmósfera de Málaga se refiere, se observó un descenso significativo de los índices polínicos anuales a lo largo de los 24 años analizados (Fig.4.57). Un comportamiento similar de disminución significativa de los registros polínicos de Myrtaceae han sido observado en Córdoba por García-Mozo *et al.* (2016). En este trabajo, los autores pusieron de manifiesto que el aumento de los terrenos urbanizados en el entorno del captador de polen fue el factor principal que motivó el patrón observado para este tipo de polen, junto con los de otros taxones utilizados como árboles de jardinería como *Platanus* y *Cupressaceae* en esta misma localidad.

Por otra parte, el análisis de la dinámica de la estación polínica de Myrtaceae muestra un alargamiento del PPP, motivado por un adelanto significativo del comienzo de la estación, así como un retraso del final de la misma. Esas tendencias, podrían estar debidas al aumento significativo de las temperaturas en los meses previos a la floración de mirtáceas, fundamentalmente en abril y mayo (Tabla 4.3), lo que promueve un adelanto de la floración de este taxón, y explica también el comportamiento de tendencia al adelanto observado para el día pico. En este mismo sentido, Menzel *et al.* (2006) explicaron que el calentamiento atmosférico está influyendo claramente en la fenología de las plantas, especialmente en el tiempo de la floración. Sin embargo, aunque se observó una ligera tendencia de retraso del final del PPP de este tipo polínico, no se puede relacionar este comportamiento con un parámetro determinado, si bien llama la atención que las concentraciones medias diarias más elevadas se obtuvieron en los años con mayor escasez de lluvias, lo que explicaría una cierta adaptación de este taxón a los ambientes con escenarios de sequía (Pita & Pardos, 2001; Silva *et al.*, 2004).

En cuando a los resultados del análisis de correlación, la temperatura aparece como el parámetro que más influye sobre los niveles de polen de Myrtaceae sobre todo el periodo pre-pico. Este hecho ha sido puesto de manifiesto por otros autores (Recio, 1995; Green *et al.*, 2004; Nieto-Lugilde, 2008). Por otra parte, un fenómeno a tener en cuenta es que la dirección del viento influye sobre las concentraciones de polen de Myrtaceae de manera positiva cuando éste procede del cuarto cuadrante mientras que dicha influencia es negativa cuando proviene del mar, explicándose así las correlaciones obtenidas con este parámetro.

El patrón intradiario fue muy estable durante los distintos años estudiados ya que, en general, apareció un incremento de las concentraciones en las primeras horas de la mañana, aunque con diferente intensidad en cada uno de los años. Sin embargo, en la localidad andaluza de Córdoba, Galán *et al.* (1991) encontraron un patrón intradiurno muy irregular.

Aunque los modelos de pronósticos obtenidos con los parámetros meteorológicos no consiguen explicar un porcentaje alto de las concentraciones de polen (Tabla 4.48), al incluir las variables no meteorológicas se presentaron modelos que mejoraron notablemente la varianza observada. Así, entre las variables seleccionadas, la concentración del día anterior ( $Myr_{t-1}$ ), la D-media, la temperatura máxima y el viento del cuarto cuadrante, conjuntamente, se mostraron favorables para la predicción de las concentraciones de Myrtaceae en la atmósfera de Málaga ya que con ellas se generó el modelo de pronóstico con un coeficiente de determinación más elevado (modelo 4b). Este modelo generó buenas predicciones, con coeficientes de correlación significativos, indicando una buena asociación entre los datos estimados y observados en el año 2016. Sin embargo, la prueba de *Wilcoxon* contradice los resultados de *Spearman*, mostando una diferencia significativa entre los rangos de los datos comparados

(Tabla 4.50). Este hecho, nos permite afirmar que se puede rechazar este modelo, porque no se muestra adecuado para predecir las concentraciones medias diarias del polen de Myrtaceae durante el pre-pico.

El polen de los géneros *Myrtus* y *Eucalyptus* está considerado como alergógeno por varios autores (Melhem & Makino, 1978; Lewis *et al.*, 1983; Domínguez Vilches *et al.*, 1984). En España, en los estudios alergológicos realizados se han encontrado resultados positivos en los test cutáneos de distintos pacientes al extracto del polen de eucalipto (Belmonte *et al.*, 1996; Iglesias *et al.*, 1998). En otros países, como Australia Hanigan & Johnston (2007) documentaron que el polen de Myrtaceae está considerado como una de las principales causas de admisiones hospitalarias por problemas alérgicos importante, con un 34% de prevalencia (Boral & Bhattacharya, 2000), apareciendo la especie *E. globulus* entre los árboles a evitar su cultivo en zonas urbanas. (Lorenzoni-Chiesura *et al.*, 2000).



### 4.3.5. Tipo polínico *Olea*

El género *Olea* perteneciente a la familia Oleaceae, incluye una sola especie, *Olea europaea* L., nativa de la cuenca mediterránea. Cultivada profusamente en Andalucía y otras regiones de clima mediterráneo como árbol frutal y para la producción de aceite de oliva, en los últimos años se ha extendido también su uso como ornamental en zonas urbanas.



#### 4.3.5.1. Descripción botánica

Se trata de un árbol perenne, de pequeño porte, crecimiento lento y larga vida. Presenta una copa redondeada y un tronco retorcido. Hojas simples, opuestas, enteras, coriáceas y oblongolanceoladas. Son verde oscuras por el haz y blanquecinas por el envés. Flores hermafroditas o unisexuales, de color blanco, pequeñas, que forman inflorescencias en racimos axilares densos. Poseen dos envueltas periánticas: cáliz en forma de copa, con 4 lóbulos poco marcados, y corola blanca, rotácea, con 4 lóbulos más largos que el tubo; androceo formado por 2 estambres de filamentos cortos y anteras gruesas, soldados a la corola. Fruto drupáceo (aceituna), ovoideo, con carne oleosa.

#### 4.3.5.2. Época de floración/polinización

El olivo florece principalmente en primavera durante un periodo relativamente largo, con una floración intensa, desde finales de marzo hasta junio. La polinización es de tipo entomófila/ anemófila (anfífila).

#### 4.3.5.3. Morfología polínica

Polen trizonocolpado, isopolar, con simetría radial, de suboblado a subprolado y de tamaño pequeño a mediano, eje polar de 22-28  $\mu\text{m}$  y diámetro ecuatorial de 20-29  $\mu\text{m}$ . De subcircular-lobulado a triangular en vista polar y de circular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. Aberturas simples, de tipo colpo, de unos 19  $\mu\text{m}$  de longitud y membrana apertural psilada. Exina de 2-3  $\mu\text{m}$  de grosor, con tectum parcial e infractectum columelado. Superficie reticulada, con lúmenes irregulares de 1,5-2  $\mu\text{m}$  de longitud, y muros lisos.

#### 4.3.5.4. Variación interanual

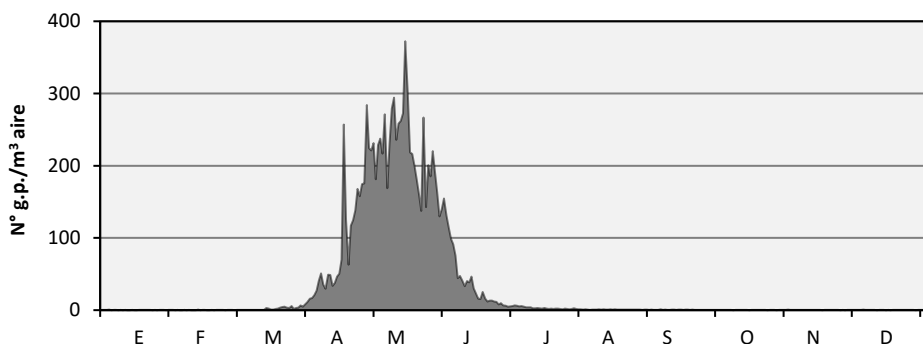
El polen de olivo ha sido el tipo más abundante en el aire de Málaga durante el periodo de estudio (1992-2015), con un índice polínico total para el periodo estudiado de 264.651 lo que representa el 32,53% del polen total detectado en estos 24 años. Analizando la dinámica anual de este tipo polínico, se observa que existen grandes diferencias interanuales, con un valor mínimo del IPA de 4.167 y un valor máximo de 21.625, caracterizadas por una alternancia bianual en la producción polínica de este taxón (Tabla 4.51).

| Años  | IPA    | % anual | Semana pico |
|-------|--------|---------|-------------|
| 1992  | 4.442  | 20,08   | 19          |
| 1993  | 9.060  | 29,77   | 20          |
| 1994  | 6.636  | 24,36   | 19          |
| 1995  | 4.167  | 20,35   | 20          |
| 1996  | 4.558  | 10,67   | 22          |
| 1997  | 21.625 | 32,94   | 16          |
| 1998  | 5.759  | 16,82   | 18          |
| 1999  | 16.488 | 36,04   | 19          |
| 2000  | 7.354  | 22,58   | 21          |
| 2001  | 14.834 | 33,85   | 17          |
| 2002  | 7.138  | 22,87   | 18          |
| 2003  | 15.069 | 38,02   | 21          |
| 2004  | 6.225  | 24,72   | 19          |
| 2005  | 16.334 | 38,09   | 20          |
| 2006  | 9.553  | 35,27   | 18          |
| 2007  | 17.091 | 36,82   | 20          |
| 2008  | 10.042 | 31,30   | 18          |
| 2009  | 14.960 | 36,09   | 20          |
| 2010  | 14.797 | 36,41   | 18          |
| 2011  | 5.310  | 19,12   | 18          |
| 2012  | 8.705  | 29,56   | 20          |
| 2013  | 16.132 | 38,81   | 19          |
| 2014  | 14.558 | 35,57   | 19          |
| 2015  | 13.815 | 45,56   | 18          |
| Media | 11.027 | 32,53   | 19          |

**Tabla 4.51.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Olea* en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

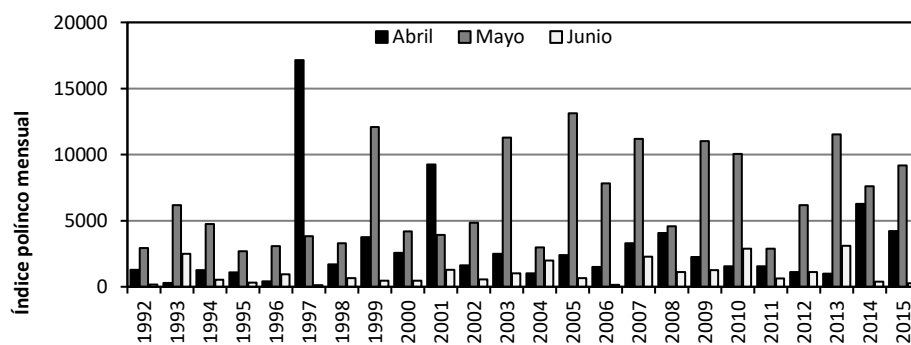
#### 4.3.5.5. Variación estacional

El polen de olivo se detecta a lo largo de buena parte del año en la atmósfera de Málaga, si bien se puede apreciar que los valores máximos se alcanzan en la primavera (abril, mayo y junio) (Fig. 4.67). En cuanto a las concentraciones máximas semanales, éstas se registraron entre la semana 16 (en el año 1997) y la 22 (en el año 1996), pero se producen más frecuentemente entre las semanas 18 y 20 (Tabla 4.51). El polen de *Olea* se detecta en la atmósfera de Málaga en niveles considerables desde principio de abril hasta mediados de junio, produciéndose un único pico máximo generalmente a mediados de mayo con un valor promedio de 372 granos de polen/m<sup>3</sup>.



**Figura 4.67.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Olea* en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El análisis de los registros polínicos obtenidos durante los años de estudio (Fig. 4.68), muestra que el comportamiento del polen de *Olea* fue bastante regular, muy similar a la figura (4.67), con elevadas cantidades de polen durante los meses de abril, mayo y junio, siendo mayo el mes en el que, salvo escasas excepciones, se detectan las máximas concentraciones, con un promedio del índice polínico mensual de 6.691. En este sentido, mayo de 2005 ocupó la primera posición en la serie temporal con un índice polínico mensual de 13.130 mientras que índice mensual más bajo, de 2.694, se obtuvo el año 1995. Cabe mencionar que en los años 1997 y 2001, abril fue el mes en el que se registró el índice mensual máximo con valores de 17.152 y 9.260 respectivamente. Dicho mes registró un promedio del índice polínico mensual de 3.051. En junio, los niveles de *Olea* descienden notablemente, registrando valores del índice polínico mensual de entre 2.889 como máximo, en el año 2013, y 124 como mínimo en el año 1997, con un promedio de 1.004.



**Figura 4.68.** Índices polínicos mensuales obtenidos en abril, mayo y junio para el tipo polínico *Olea* en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Al examinar las gráficas de cada año observamos que las concentraciones medias diarias han alcanzado en algunos años cifras muy elevadas en la atmósfera de Málaga durante el periodo de estudio, con un máximo histórico de 3.734 granos de polen/m<sup>3</sup> en 1997. Por otra parte, se han detectado picos máximos diarios relevantes, con cantidades superiores a 1.400 granos de polen/m<sup>3</sup> en 1999, 2003, 2005, 2007, 2014 y 2015.

Durante el periodo estudiado, el polen ha estado presente a partir del final de marzo hasta junio, manteniendo los niveles más altos durante la primera quincena de mayo, si exceptuamos los años 1997, 2001 y 2008, en los que se registraron los niveles máximos en el mes de abril, con picos máximos que tuvieron lugar los días 17/04, 17/04 y 30/04, respectivamente (Fig. 4.69).

### 4.3.5.6. Periodo de Polinación Principal

El periodo de polinación principal se caracterizó por una duración de 65 días de media a lo largo de los 24 años estudiados, presentando fechas promedio entre el 12/04 y el 15/06 como inicio y final del PPP. La duración del PPP ha sido variable, oscilando entre un mínimo de 41 días en el año 2006 y un máximo de 103 días obtenido en el año 2011.

Las cantidades de polen registradas durante el PPP han sido muy elevadas, con un valor promedio del índice polínico para este periodo de 10.530 durante los años de estudio. Se observa una diferencia entre los índices polínicos obtenidos durante el PPP de un año a otro, habiéndose registrado un valor máximo de 20.582 en el año 1997, mientras que el mínimo fue de 3.974 en el año 1995.

Respecto al día de máxima producción polínica, definido como el día pico, se ha calculado el 5 de mayo como fecha promedio en el periodo total de estudio (1992-2015) con una concentración media de 1.065 granos de polen/m<sup>3</sup>. De forma general, los días picos se alcanzaron durante la primera quincena de mayo en la mayoría de los años estudiados, con excepto en los años 1997, 2001 y 2008 en los cuales el día pico ocurrió durante la segunda quincena de abril.

Por otra parte, los periodos pre-pico fueron cortos, con un promedio de 26 días, en comparación con los periodos post-pico, para los que se han obtenido un promedio de 39 días. La duración del pre-pico osciló entre los 10 días de 1993 y los 41 de 1996. Respecto al periodo post-pico, éste mostró una duración comprendida entre los 16 días en el año 2005 y los 71 días como máximo en el año 2011. Las cantidades de polen registradas han sido mayores en el periodo de post-pico, con un índice promedio de 6.571, comparando con los registros del periodo pre-pico, con índice promedio de 4.151 (Tabla 4.52).

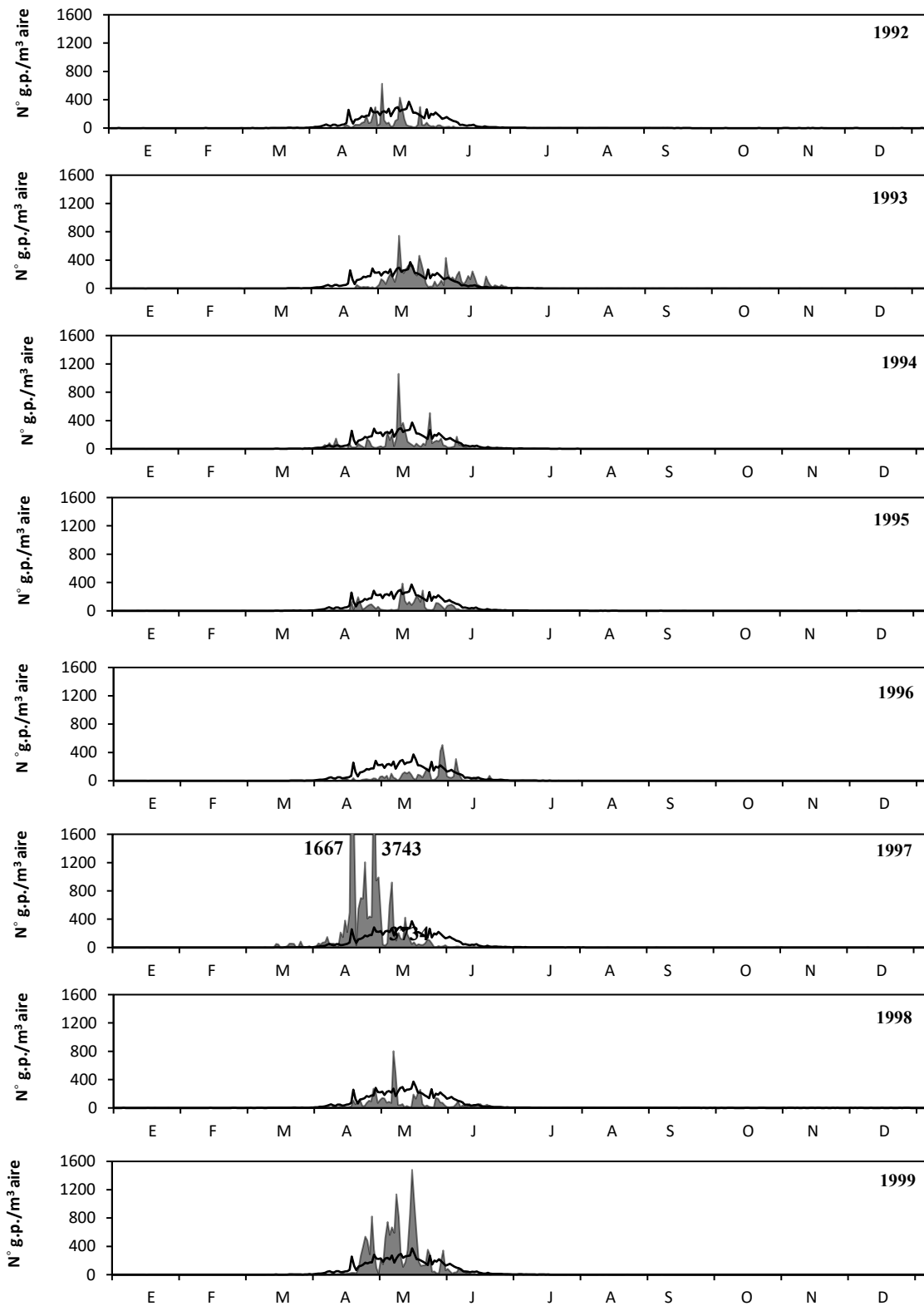


Figura 4.69. Concentraciones medias diarias de polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).



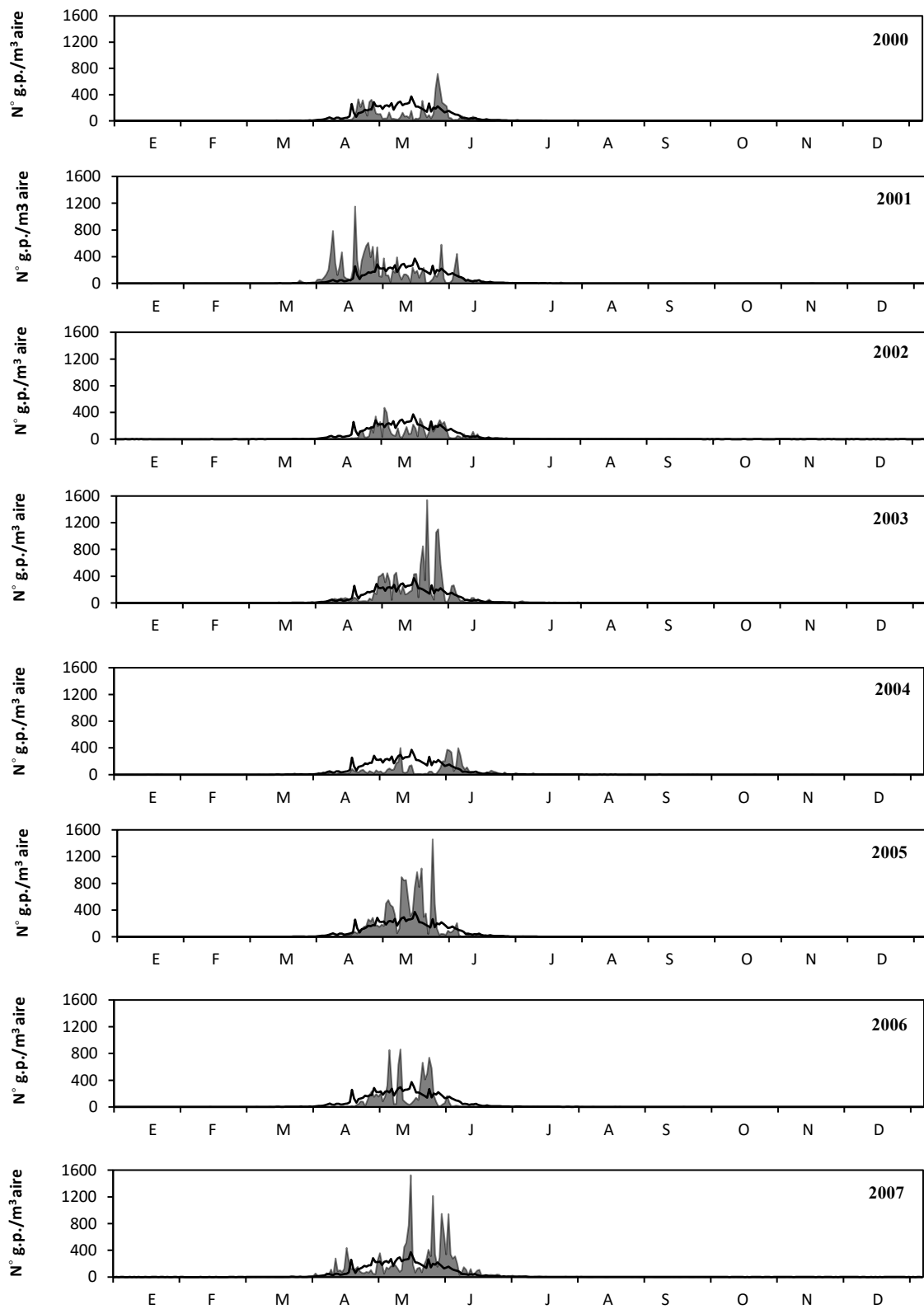


Figura 4.69. Continuación.

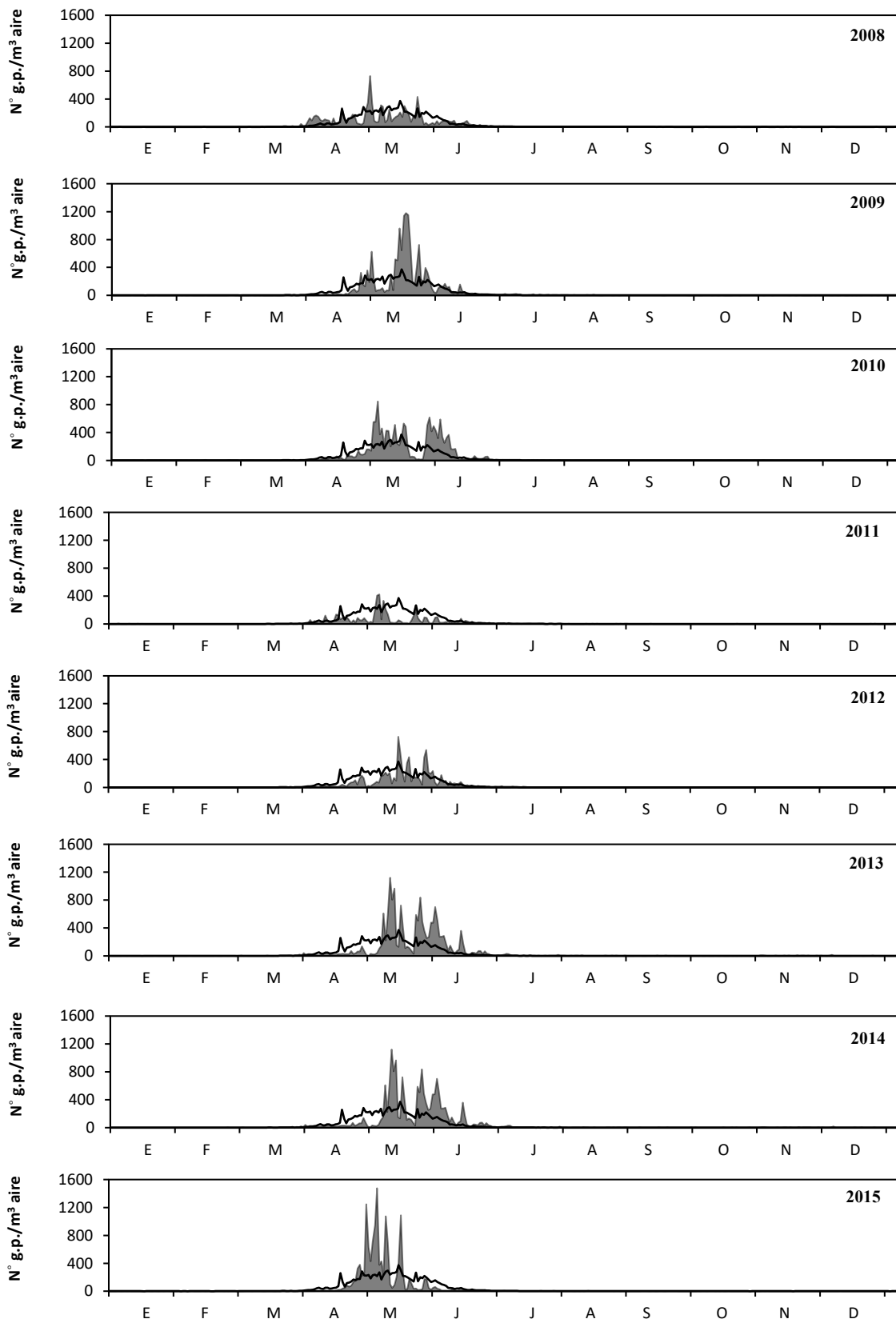


Figura 4.69. Continuación.

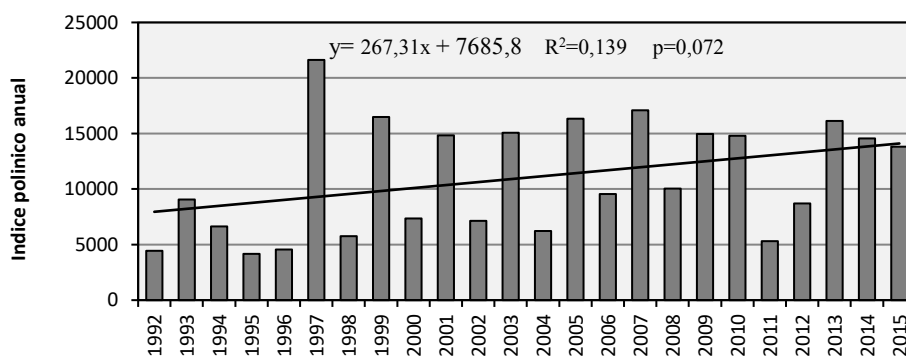
| Año       | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992      | 16-04 (108)/08-06 (161) | 54       | 4.260         | 02-05 (124)     | 627                                    | 16       | 1.302         | 38        | 2.959         |
| 1993      | 29-04 (121)/24-06 (177) | 56       | 8.638         | 09-05 (131)     | 745                                    | 10       | 1.193         | 46        | 7.397         |
| 1994      | 04-04 (96)/08-06 (161)  | 66       | 6.356         | 08-05 (130)     | 1.060                                  | 34       | 2.027         | 32        | 4.329         |
| 1995      | 16-04 (108)/09-06 (162) | 55       | 30.974        | 10-05 (132)     | 387                                    | 24       | 1.346         | 31        | 2.628         |
| 1996      | 16-04 (108)/01-07 (184) | 77       | 4.339         | 27-05 (149)     | 506                                    | 41       | 2.447         | 36        | 1.892         |
| 1997      | 02-04 (94)/20-05 (142)  | 49       | 20.582        | 17-04 (109)     | 3.734                                  | 15       | 2.037         | 34        | 18.545        |
| 1998      | 12-04 (104)/17-06 (170) | 67       | 5.472         | 05-05 (127)     | 803                                    | 23       | 1.940         | 44        | 3.531         |
| 1999      | 20-04 (112)/04-06 (157) | 46       | 15.799        | 14-05 (136)     | 1.482                                  | 24       | 10.467        | 22        | 5.331         |
| 2000      | 18-04 (110)/12-06 (165) | 56       | 7.064         | 26-05 (148)     | 715                                    | 38       | 4.656         | 18        | 7.025         |
| 2001      | 02-04 (94)/07-06 (160)  | 67       | 14.145        | 17-04 (109)     | 1.151                                  | 15       | 3.363         | 52        | 10.782        |
| 2002      | 18-04 (110)/11-06 (164) | 55       | 6.761         | 01-05 (123)     | 471                                    | 13       | 1.497         | 42        | 5.264         |
| 2003      | 12-04 (104)/17-06 (170) | 67       | 14.406        | 20-05 (142)     | 1.540                                  | 39       | 8.196         | 28        | 6.210         |
| 2004      | 04-04 (96)/29-06 (183)  | 87       | 5.943         | 09-05 (131)     | 400                                    | 36       | 1.732         | 52        | 4.211         |
| 2005      | 19-04 (111)/06-06 (159) | 49       | 15.625        | 22-05 (144)     | 1.459                                  | 33       | 12.791        | 16        | 2.834         |
| 2006      | 21-04 (113)/31-05 (153) | 41       | 9.208         | 09-05 (131)     | 861                                    | 18       | 3.827         | 23        | 5.381         |
| 2007      | 09-04 (100)/20-06 (173) | 73       | 16.294        | 14-05 (136)     | 1.524                                  | 35       | 6.059         | 38        | 10.235        |
| 2008      | 02-04 (94)/21-06 (174)  | 81       | 9.622         | 30-04 (122)     | 730                                    | 28       | 3.256         | 53        | 6.366         |
| 2009      | 22-04 (114)/02-07 (185) | 72       | 14.297        | 16-05 (138)     | 1.179                                  | 24       | 6.839         | 48        | 7.448         |
| 2010      | 14-04 (106)/22-06 (175) | 70       | 14.141        | 03-05 (125)     | 847                                    | 19       | 2.419         | 51        | 11.722        |
| 2011      | 03-04 (95)/14-07 (197)  | 103      | 5.101         | 05-05 (127)     | 424                                    | 32       | 2.181         | 71        | 2.920         |
| 2012      | 14-04 (106)/05-07 (188) | 83       | 8.274         | 14-05 (136)     | 728                                    | 30       | 2.439         | 53        | 5.835         |
| 2013      | 12-04 (104)/29-06 (182) | 79       | 15.336        | 10-05 (132)     | 1.121                                  | 28       | 2.523         | 51        | 12.813        |
| 2014      | 10-04 (102)/07-06 (160) | 59       | 13.832        | 12-05 (134)     | 1.578                                  | 32       | 9.383         | 27        | 4.486         |
| 2015      | 19-04 (111)/04-06 (157) | 47       | 13.262        | 04-05 (126)     | 1.476                                  | 15       | 5.705         | 32        | 7.557         |
| 1992-2015 | 13-04 (105)/15-06 (179) | 65       | 10.530        | 05-05 (127)     | 1.065                                  | 26       | 4.151         | 39        | 6.571         |

Tabla 4.52. Indicadores del polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).

## 4.3.5.7. Estudio de tendencias

- Índice polínico anual

En la figura (4.70), se puede observar que la línea de la tendencia de la dinámica del polen de olivo en Málaga durante los 24 años de estudio indica un aumento de los IPA del polen de *Olea*. Sin embargo, el análisis estadístico de dicha tendencia mediante la prueba de *Mann-Kendall* (Tabla 4.53), indica que no existe una tendencia significativa en la serie de los registros totales anuales a lo largo del periodo de estudio ( $Z=0,232$ ;  $p=0,120$ ), al igual que lo hace el coeficiente de determinación. Por otra parte, aunque no se ha podido obtener un resultado expresando el comportamiento seguido por este tipo polínico, la pendiente de *Sen* nos permitió explicar la magnitud de la tendencia en la producción polínica de *Olea*, obteniendo un valor de positivo igual a 301,5.



**Figura 4.70.** Evolución del índice polínico anual de *Olea* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

|              |               |              |          | <i>Mann-Kendall Test</i> |             | <i>Pendiente de Sen</i> |
|--------------|---------------|--------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------|
| <i>Serie</i> | <i>Inicio</i> | <i>Final</i> | <i>n</i> | <i>Z</i>                 | <i>Sig.</i> | <i>Q</i>                |
| IPA          | 1992          | 2015         | 24       | 0,232                    | 0,120       | 301,5                   |

**Tabla 4.53.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Olea*, en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

- Niveles del polen de *Olea*

Basándonos en las categorías del grupo 4 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007), procedemos a analizar la tendencia de los niveles de las concentraciones polínicas del *Olea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de estudio, en función de los números de días con diferentes rangos de concentraciones polínicas (Fig. 4.71, Tabla 4.54). Los días con concentraciones nulos ( $<1$  g.p./m<sup>3</sup>) durante el periodo de estudio (1992-2015), varían entre un mínimo de 96 registrado en 2010 y un máximo de 264 en 1992, manteniendo un valor promedio de 195 días y una desviación típica de 46,87.

Por otro lado, el promedio de los días con concentraciones medias diarias incluidos en la categoría 1-50 g.p./m<sup>3</sup> ha sido 131 ( $\pm 41,8$ ), durante el conjunto de los años, presentando un mínimo de 67 días en el año 1993 y un máximo de 221 días en el año 2010.

Los días con concentraciones entre 51-200 g.p./m<sup>3</sup> han sido 48 como máximo en 2008 y 12 como mínimo en el año 2015, con un promedio de 25 días durante los 24 años de estudio. Por último, los días con valores superiores a los 200 g.p./m<sup>3</sup> de media diaria supusieron un promedio de 15 días y han oscilando entre un mínimo de 3 en 1995 y un máximo de 26 en 2010.

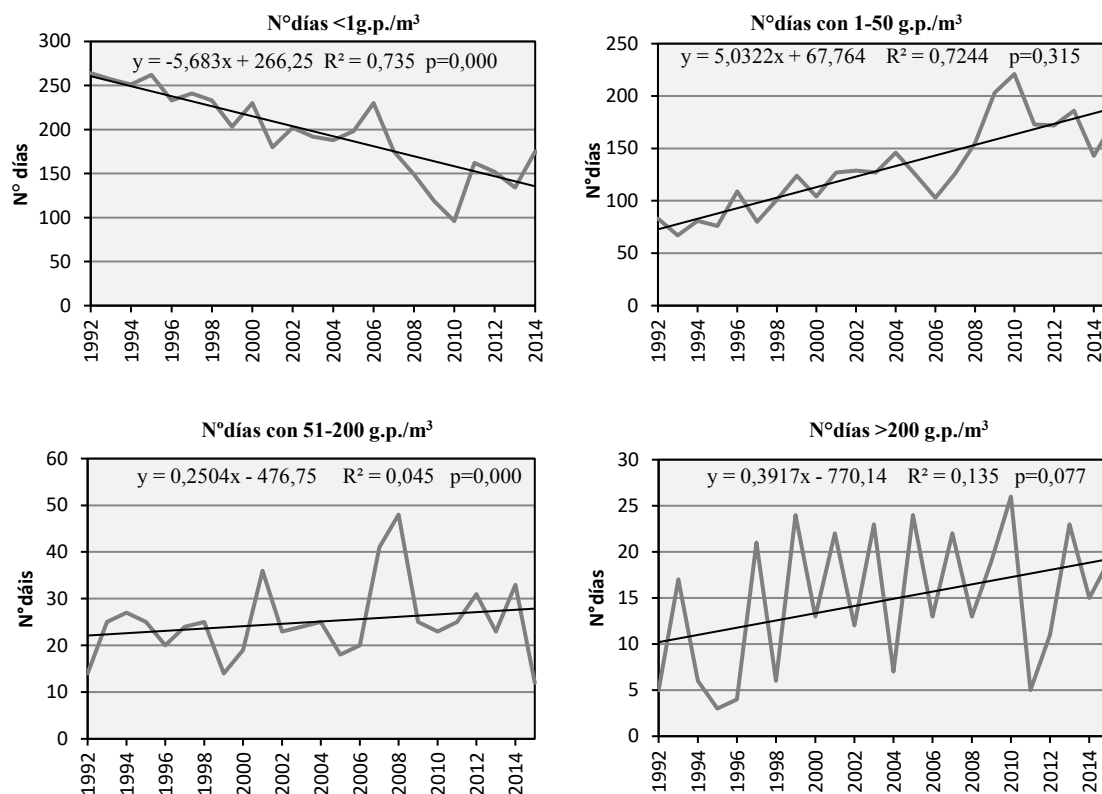
| Niveles                            | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica |
|------------------------------------|--------|--------|-------|--------------|
| Nº días <1g.p./m <sup>3</sup>      | 96     | 264    | 195   | 46,87        |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 67     | 221    | 131   | 41,8         |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 12     | 48     | 25    | 8,26         |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | 3      | 26     | 15    | 7,53         |

**Tabla 4.54.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

En la tabla (4.55) se muestran los resultados obtenidos tras utilizar la prueba de *Mann-Kendall* en el estudio de las tendencias seguidas por los diferentes niveles a lo largo de los años de estudio. Se observa que existe una tendencia negativa y significativa ( $Z = -0,740$ ;  $p < 0,0001$ ) en el número de días con concentraciones inferiores a 1 g.p./m<sup>3</sup>, con un valor de la pendiente de *Sen* de -5,85. Resultados similares se han observado en los niveles correspondientes a la categoría 1-50 g.p./m<sup>3</sup>, con un resultado significativo del test de *Mann-Kendall* aunque con una tendencia positiva. Sin embargo, aunque con valores de pendiente de *Sen* positivos, en las categorías 51-200 y >200 g.p./m<sup>3</sup>, los resultados estadísticos no han sido significativos para valores de  $p \leq 0,05$ . En el estudio de regresión, se obtuvieron coeficientes de determinación significativos para todos los niveles, excepto para el intervalo 1-50 g.p./m<sup>3</sup> (Fig. 4.71).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | <i>Mann-Kendall</i> Test |         | Pendiente de <i>Sen</i> |
|------------------------------------|--------------------------|---------|-------------------------|
|                                    | Z                        | Sig.    | Q                       |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,740                   | <0,0001 | -5,85                   |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,679                    | <0,0001 | +4,90                   |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 0,102                    | 0,514   | +0,13                   |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,262                    | 0,082   | +0,41                   |

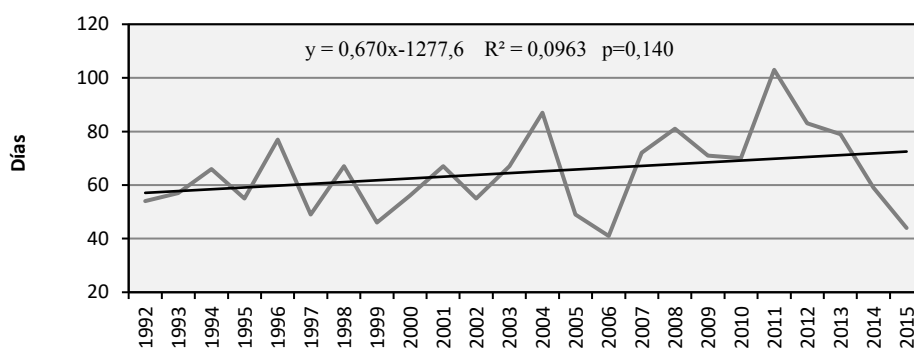
**Tabla 4.55.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Olea*, en la atmósfera Málaga (1992-2015).



**Figura 4.71.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

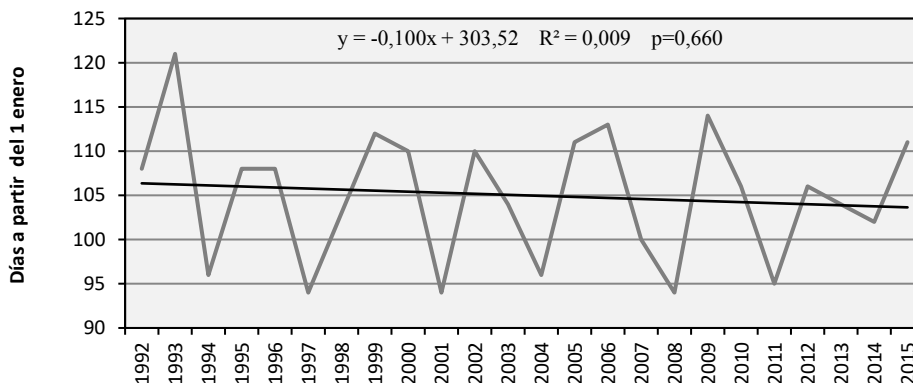
▪ **Parámetros del PPP**

Se analizó la tendencia de los parámetros del periodo de polinación principal del tipo polínico *Olea* durante los años 1992-2015. Así, se observa que **la duración del PPP** ha oscilado entre los 40 y los 103 días (Fig. 4.72), con un promedio de 65 días y una desviación típica de 14,9. Los resultados obtenidos tras aplicar la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=0,227$ ;  $p=0,806$ ), indican la ausencia de una tendencia significativa en este parámetro, con una pendiente de *Sen* de 0,80 (Tabla 4.56).



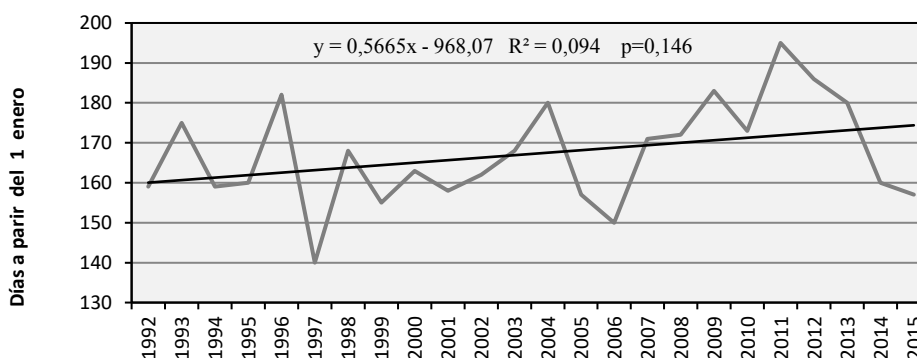
**Figura 4.72.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Olea* en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El inicio del PPP tuvo lugar entre los días 94 (02 de abril) y 121 (29 de abril), situándose el día promedio en el 13 de abril ( $105 \pm 7,3$ ) (Fig. 4.73). Por lo general, se observa que el patrón de comportamiento del inicio de la estación del polen de *Olea* ha sido bastante estable mostrando un coeficiente de variación del 6,6%. Los resultados obtenidos de test no paramétrico de *Mann-Kendall* (Tabla 4.56), así como el estudio de regresión, indican que no existe una tendencia significativa en el parámetro ( $Z=-0,063$ ,  $p=0,690$ ). En este caso, la prueba de estimación de la pendiente de *Sen* mostró un valor con signo negativo ( $Q=-0,07$ ).



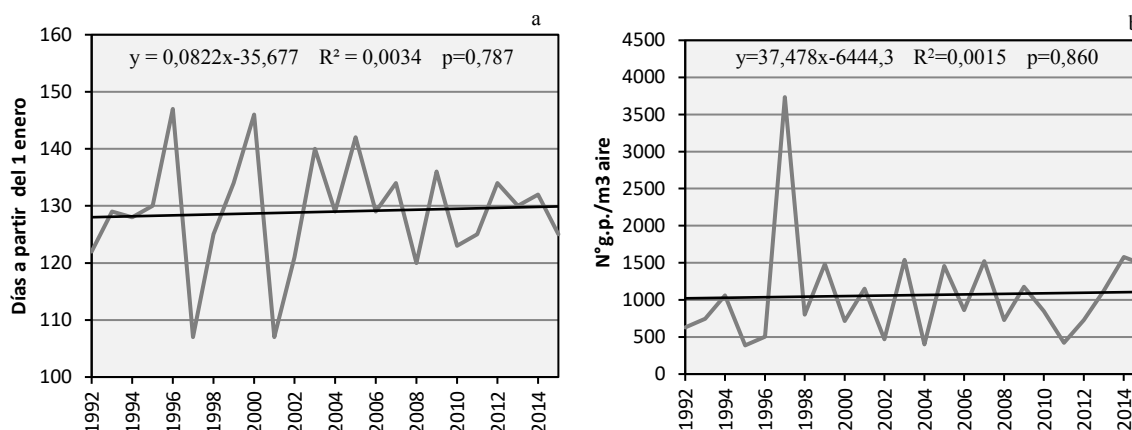
**Figura 4.73.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Por otra parte, el final del PPP mostró una fecha media situada en el día  $169 \pm 12,7$  (16 de junio), oscilando entre los días 143 (20 de mayo) y 198 (14 de julio) durante el periodo estudiado (Fig.4.74). Tras aplicar la prueba de *Mann-Kendall*, se observa que no se obtienen valores significativos en lo que a tendencia se refiere ( $Z=0,202$ ;  $p=0,179$ ), al igual que ocurre con el estudio de regresión. El valor de la pendiente de la recta de tendencia ha sido igual a  $+ 0,74$  (Tabla 4.56).



**Figura 4.74.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Olea* en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En cuanto al día pico, éste ha tenido lugar entre los días 107 (17 de abril) y 147 (27 de mayo), con el día 129 (09 de mayo) como promedio. Por otra parte, en el caso de la concentración pico, el valor promedio fue de 1.065 g.p./m<sup>3</sup>, con valores de concentraciones medias diarias oscilando 387 g.p./m<sup>3</sup> y 3.734 g.p./m<sup>3</sup> (Fig. 4.75). El análisis estadístico del comportamiento relativo al día pico, junto con el valor pico, indica que no hay patrones de tendencia estadísticamente significativos ( $p=0,795$ ;  $p=0,268$ , respectivamente) durante el periodo estudiado (1992-2015), pero se puede observar que el cálculo de la pendiente de *Sen* arroja valores positivos de 0,05 para la fecha y de 12,61 para el valor pico (Tabla. 4.56).



**Figura 4.75.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del polen de *Olea* (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de <i>Sen</i> |
|--------------|-------------------|-------|-------------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                       |
| Inicio PPP   | -0,063            | 0,690 | -0,07                   |
| Final PPP    | 0,202             | 0,179 | 0,74                    |
| Duración PPP | 0,227             | 0,129 | 0,80                    |
| Día pico     | 0,048             | 0,765 | 0,05                    |
| Valor pico   | 0,167             | 0,268 | 12,61                   |

**Tabla 4.56.** Resumen de los resultados de *Mann-Kendall* y de la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.5.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

Analizando las correlaciones obtenidas entre las concentraciones medias diarias de polen de *Olea* durante el PPP completo de todos los años estudiados (1992-2015) y los principales parámetros meteorológicos (Tabla 4.57), se observa que sólo se obtuvieron coeficientes de correlación significativos y positivos con la velocidad media del viento y con el viento del cuarto cuadrante (NO). Sin embargo, se obtuvieron coeficientes de correlación negativos y significativos, con el viento del segundo cuadrante (SE), el porcentaje de calmas, las precipitaciones, la humedad relativa y con la temperatura mínima. No se obtuvieron correlaciones significativas con las temperaturas medias y máximas, con las horas de sol ni tampoco con los vientos del primer (NE) y tercer cuadrante (SO).



Al analizar por separado los dos periodos del PPP, pre-pico y post-pico, se aprecia un comportamiento diferente, ya que durante el pre-pico, además de con la velocidad media del viento y el viento del cuarto cuadrante, aparecieron correlaciones significativas y positivas con las temperaturas medias, máximas, mínimas, y con las horas de sol, mientras que con el resto de los parámetros se obtuvieron correlaciones negativas, que no fueron significativas sólo en el caso de los vientos del primer y tercer cuadrante. Por otra parte, analizando el periodo post-pico, se observan variaciones en el comportamiento de los coeficientes, ya que, en el caso de las temperaturas, dichos coeficientes siguen siendo significativos pero con signo negativo, mientras que para los demás parámetros meteorológicos sólo se obtuvieron coeficientes significativos en el caso de la velocidad media del viento y el viento del cuarto cuadrante. En cuanto al porcentaje de calmas, el coeficiente sigue siendo negativo y significativo.

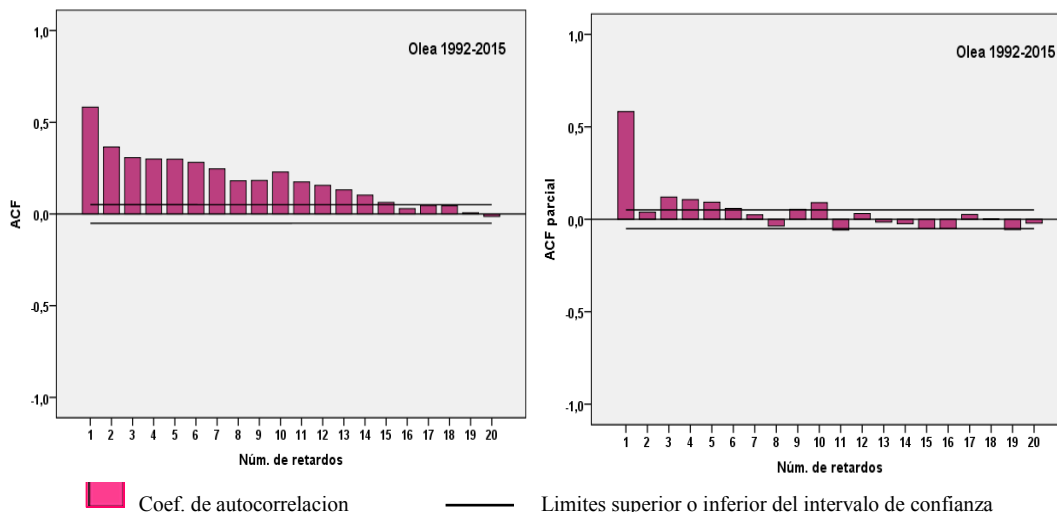
|                          | PPP<br>N=2281 | Pre-pico<br>N=485 | Post-pico<br>N=1796 |
|--------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,089*       | -0,242***         | 0,005               |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | -0,009        | 0,404***          | -0,168              |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | -0,011        | 0,516***          | -0,172**            |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | -0,114*       | 0,256**           | -0,292***           |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,146*       | -0,091*           | -0,161**            |
| <b>Horas de Sol</b>      | 0,027         | 0,162*            | 0,001               |
| <b>V. med. Vt.</b>       | 0,268**       | 0,328**           | 0,232**             |
| <b>%Vto. 1°C.</b>        | -0,032        | -0,039            | -0,046              |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,245**      | -0,127*           | -0,250              |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | -0,007        | -0,027            | 0,027               |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,261**       | 0,194*            | 0,266**             |
| <b>Calma</b>             | -0,170**      | -0,142*           | -0,193**            |

**Tabla 4.57.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0.05$ , \*\* $\leq 0,01$

#### 4.3.5.9. Análisis de autocorrelaciones

En el análisis de las autocorrelaciones del periodo de muestreo completo (Fig. 4.76), se muestra que el valor más elevado del coeficiente de autocorrelación se obtiene con el día anterior (n-1), con un descenso paulatino de los coeficientes significativos, que llega hasta los 14 días de retardo. Al realizar las autocorrelaciones parciales, el número de retardos con un grado de asociación estadísticamente significativa se redujo a 5.

Así, se puede observar que el día anterior tuvo el mejor coeficiente en ambos casos, por lo cual fue la mejor variable predictora a ser considerada para su inclusión en los modelos de regresión múltiple por pasos.



**Figura 4.76.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de las concentraciones medias diarias del polen de *Olea* en la atmósfera (1992-2015).

#### 4.3.5.10. Modelos de pronóstico

En este apartado se presentan los resultados obtenidos tras realizar un estudio de regresión, utilizando tanto el método de regresión simple como el de pasos sucesivos, entre los datos polínicos de *Olea* durante el periodo pre-pico (variable dependiente) y las 12 variables meteorológicas (variables independientes), considerando el periodo total de los 24 años. De los modelos obtenidos, en la tabla (4.58) se incluyen los modelos que han obtenido coeficientes de determinación más elevados, utilizando sólo los parámetros meteorológicos. El primer modelo ha sido una ecuación de regresión lineal simple, en la que la variable predictora resultó ser la temperatura media. En los modelos 2a y 3a entran a formar parte de la ecuación la velocidad media del viento y la temperatura máxima, respectivamente, sin embargo dichas ecuaciones, aunque significativos, siguen obteniendo coeficientes de determinación bastante bajos.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1a     | Ole= 40,489 T <sup>a</sup> med-562,139   | 0,244          | 0,000 |
| 2a     | Ole= 37,670 T <sup>a</sup> med+5,491 Vel.med.vt-583,879                          | 0,261          | 0,000 |
| 3a     | Ole= 30,527 T <sup>a</sup> med+5,769 Vel.med.vt+8,847 T <sup>a</sup> max-663,323 | 0,274          | 0,000 |

**Tabla 4.58.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Olea* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).



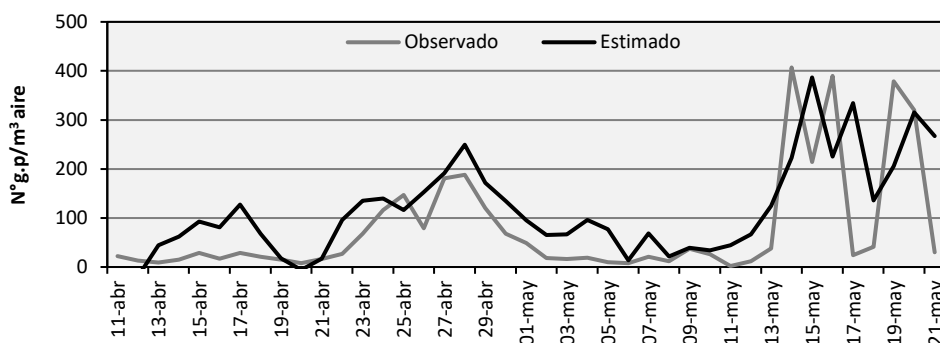
Intentando mejorar los modelos, se introdujeron otras variables como la concentración del día anterior ( $Olea_{t-1}$ ), en base a los resultados obtenidos en el autocorrelograma, así como la D-media, pudiéndose observar en la tabla 4.59 que los modelos mejoraron notablemente, con coeficientes de determinación que llegaron a valores de 0,535 en el modelo número 4b.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1b     | $Ole = 0,720 Olea_{t-1} + 55,494$  | 0,448          | 0,000 |
| 2b     | $Ole = 0,604 Olea_{t-1} + 21,812 T^a \text{ med} - 316,384$                                    | 0,507          | 0,000 |
| 3b     | $Ole = 0,610 Olea_{t-1} + 19,727 T^a \text{ med} + 1,045 Vto.4^\circ C - 332,135$              | 0,525          | 0,000 |
| 4b     | $Ole = 0,585 Olea_{t-1} + 18,223 T^a \text{ med} + 1,095 Vto.4^\circ C + 0,257 Dmed - 347,711$ | 0,535          | 0,000 |

**Tabla 4.59.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concenciones medias diaria del polen de *Olea* durante el periodo de pre-pico en Málaga, en función de los parámetros meteorologicos, la D-media y la concentracion del día anterior durante los años estudiados (1992-2015).

▪ **Validación del mejor modelo**

En la figura (4.77), se presenta gráficamente las concentraciones medias diarias del polen de *Olea* observadas durante el año 2016 y las estimadas para este mismo año según el modelo 4b (Tabla 4.59). Como resultado del análisis de correlacion entre los valores observados y estimados (Tabla 4.60), se obtiene un coeficiente altamente significativo, con un valor de r de 0,813 (p=0,000). En cambio, al aplicar el test de *Wilcoxon*, los resultados se muestran contradictorios, ya que aparecen diferencias significativas entre los recuentos observados en el año 2016 y los datos estimados mediante el mejor modelo de pronóstico obtenido mediante los estudios de regresión múltiple.



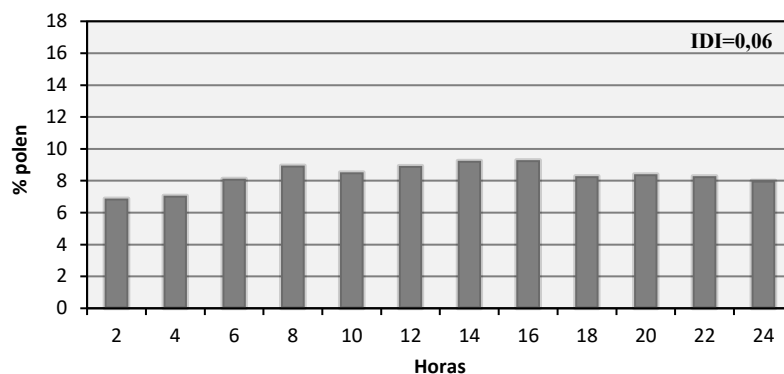
**Figura 4.77.** Concentraciones medias diarias del polen de *Olea* durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 4b de las ecuaciones de regresión.

|  | Spearman Test |       | Wilcoxon Test |         |        |       |
|--|---------------|-------|---------------|---------|--------|-------|
|  | r             | p     | Rango +       | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 4b</b><br>Observado-Estimado | 0,813         | 0,000 | 8             | 33      | -3,480 | 0,001 |

**Tabla 4.60.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido de las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.5.11. Variación Intradiaria

Analizando el modelo promedio de la variación intradiaria de las concentraciones de polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante los 24 años de estudio (Fig. 4.78), se ha observado que se mantienen niveles, en general, bastante homogéneos a lo largo de las 24 horas del día, sin un pico destacable. Esto quiere decir que se pueden encontrar concentraciones elevadas de polen a cualquier hora del día o de la noche. El índice de distribución intradiaria ha sido bajo con un valor igual a  $0,06 \pm 0,03$  y un coeficiente variación (Cv) de 33%.



**Figura 4.78.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Olea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Los modelos de la variación intradiaria correspondientes a los diferentes años, por separado, mostraron un comportamiento similar al modelo promedio. Se detectaron picos de intensidad moderada o baja en la mayoría de los años con valores máximos que no suelen superar el 12% del total diario. Sólo en los años 2007 y 2011 se obtuvieron picos máximos más intensos que superan ligeramente el 16% del total medio diario en el torno a los 14:00-16:00 horas y 10:00-12:00, respectivamente (Fig. 4.79). Por otra parte, los valores obtenidos del índice de distribución intradiaria (IDI) fueron bajos, ya que oscilaron entre 0,03 de valor mínimo y el 0,10 de máximo. Sólo en los años 2007 y 2011 se obtuvieron valores superiores de 0,13 y 0,12 respectivamente.

#### 4.3.5.12. Discusión

El olivo (*Olea europaea* L.) es quizás la especie más característica y más distintiva del paisaje agrícola andaluz ya que esta región es el territorio con mayor superficie dedicada al cultivo del olivo como a la producción de aceite de oliva (Zohary & Hopf, 2000). En la actualidad, España es líder mundial en la producción de Oliva con más de 4% de la producción mundial (FAOSTAT, 2016), seguido de Grecia, Italia, Túnez, Turquía y Siria (Negrini *et al.*, 1992; Licacardi *et al.*, 1994; Syrigou *et al.*, 2003; Díaz de la Guardia *et al.*, 2003), contando las provincias andaluzas con una gran tradición olivarera, ya que dedican más del 80% de su superficie total al cultivo del olivo con 80% del total de la producción local del territorio español (CAPDR, 2016a), entre ellas la provincia de Málaga con 5% según los datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Ssya, 2011).

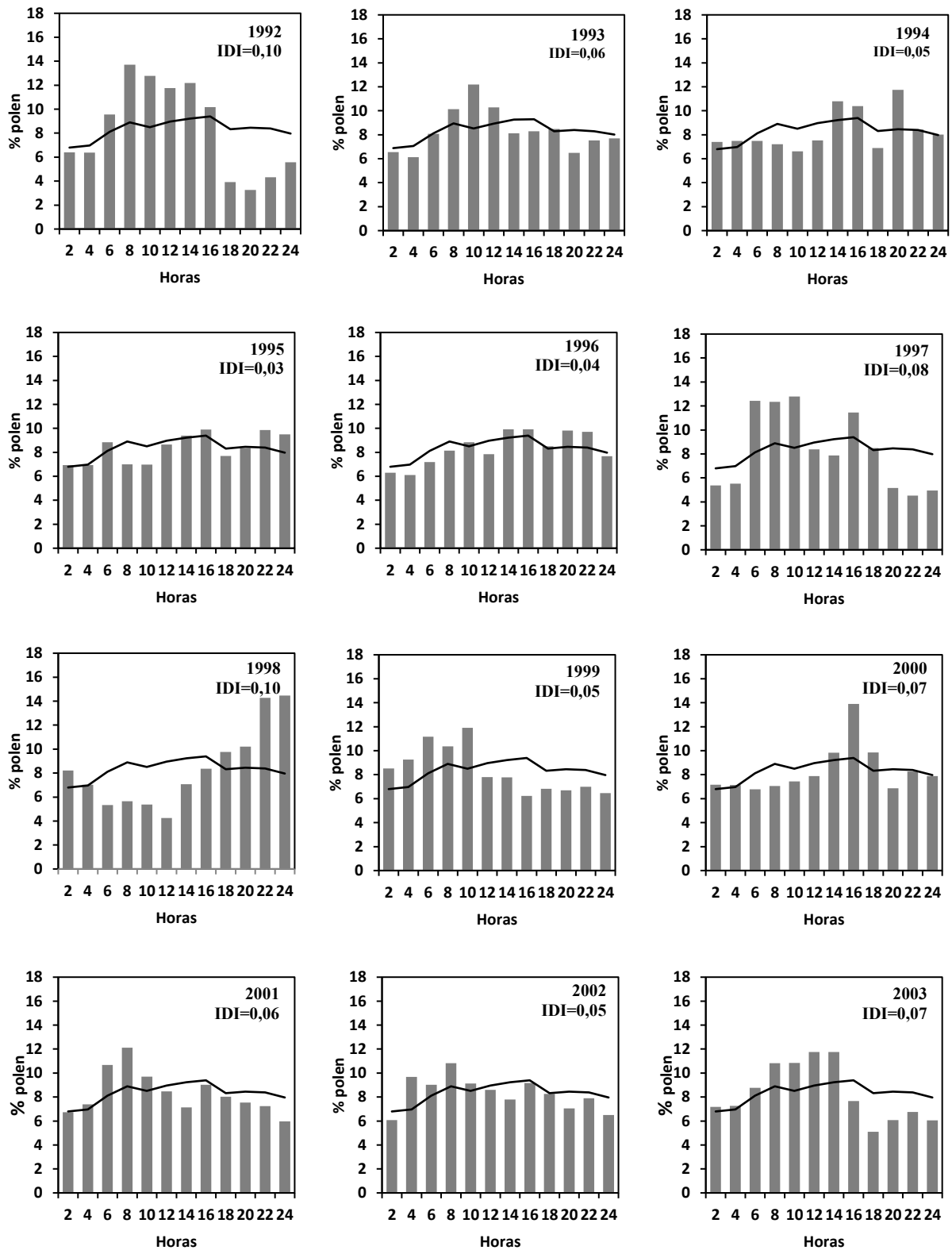


Figura 4.79. Variación intradiaria del polen de *Olea* para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

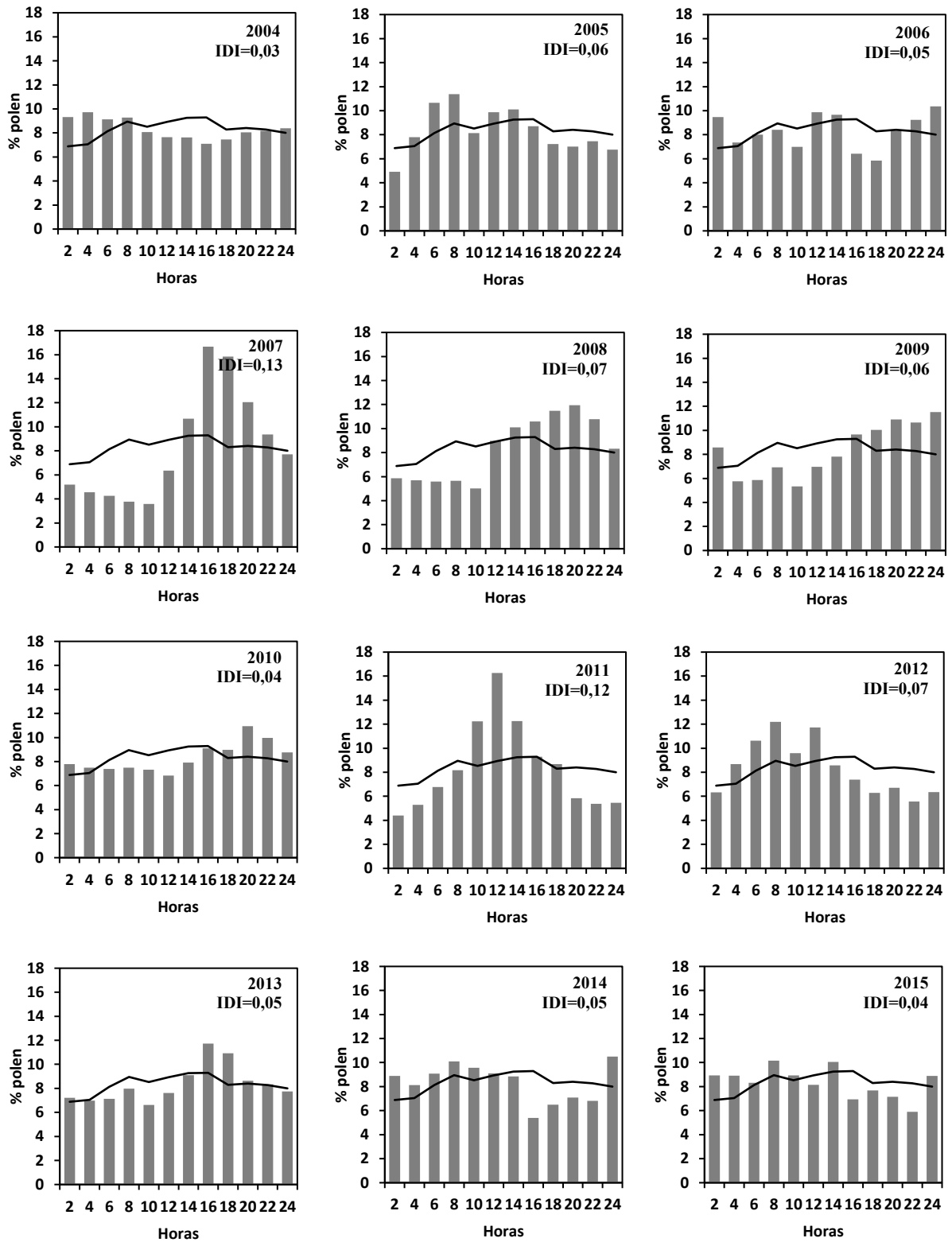


Figura 4.79. Continuación.

Los índices polínicos anuales más importantes se registran en Jaén (Aguilera & Valenzuela, 2012), Córdoba (Galán *et al.*, 2008) o Granada (De Linares, 2007) donde se han llegado a detectar índices polínicos superiores a 45.000 y 25.000 respectivamente.

Asimismo, debido a la gran cantidad de hectáreas dedicada a este cultivo, la alta producción de polen que presenta este taxón y la facilidad de su transporte, lo convierte en uno de los tipos polínicos más abundante dentro del espectro polínico anual, especialmente en el sur de la Península (Fornaciari *et al.*, 2000; Pérez-Badia *et al.*, 2010; Martínez-Bracero *et al.*, 2015). En Málaga, el polen de *Olea* presentó un 32% del espectro polínico total del periodo estudiado pero, debido a la menor de la superficie ocupada por este cultivo los índices anuales ha sido inferiores a aquellos obtenidos en otras provincias andaluzas, con un índice polínico anual promedio de 11.027 durante el periodo estudiado. De hecho, muchos cultivos de olivo han sido sustituidos por especies tropicales como el aguacate y el mango en las zonas más cálidas, que son, por ora parte, las más cercanas a la capital.

En lo que se refiere a la evolución diaria del polen de *Olea*, se puede ver que se caracterizó por una sucesión de picos de diferente intensidad (Fig. 4.67), un comportamiento muy similar ha sido observado en Nerja (Docampo, 2008). La existencia de esos picos puede ser explicada por la existencia de diversas variedades de olivo cultivadas, lo que produce un posible desfase de la liberación del polen, pero también por la dirección del viento, ya que cuando sopla el viento de componente norte, favorece el transporte de polen de olivo de zonas interiores de la provincia, sobre todo de la comarca de Antequera (Recio *et al.*, 2000) e incluso de otras provincias como Jaén y Córdoba con floración más tardía, mientras que los vientos de levante, procedentes del mar, tienden a disminuir notablemente las concentraciones de polen. Hay que señalar también que la orografía del terreno, con diferentes pisos bioclimáticos, favorece la floración sucesiva de los cultivos de *Olea* situados a diferentes alturas (Aguilera *et al.*, 2014; Rojo & Pérez-Badia, 2015).

Otro aspecto a destacar es la diferencia interanual detectada en los índices polínicos con valores muchos mayores en los años impares en nuestra área de estudio (Tabla 4.51), fenómeno que ya había descrito por diversos autores (Galán *et al.*, 1988; Emberlin *et al.*, 1990; Recio, 1995; Díaz de la Guardia *et al.*, 2003; Rojo *et al.*, 2015b). Por el contrario, otros autores mostraron que el comportamiento de alternancia en la producción anual de polen de olivo no se observa siempre (Oteros *et al.*, 2014). De hecho, algunos autores indican que el comportamiento bienal del olivo puede ser influenciado por el desarrollo de las técnicas de mantenimiento de los olivares y las actividades agrícolas (Fernández-Escobar *et al.*, 2004; Bustan *et al.*, 2011; Fernández *et al.*, 2015), además de las condiciones meteorológicas características de cada área (Díaz de la Guardia *et al.*, 2003). Por otra parte, González Minero y Candau (1996), explicaron que las lluvias pre-estacionales juegan un papel importante en la producción anual de polen de olivo, ya que cuando se registraron años consecutivos de escasez de precipitaciones, lo que resulta una reducción de las reservas de agua, se causa un estrés hídrico en el árbol, lo cual produce ciclos muy irregulares que influyen sobre la intensidad de la floración y, por consiguiente, en la producción de polen (Galán *et al.*, 2001; Sicard *et al.*, 2012).

En Málaga, se ha observado una tendencia al positivo de los IPAs del polen de *Olea*, aunque con coeficientes de regresión no significativos. Con respecto a este comportamiento, resultados similares, analizando un periodo de 20 años, ha sido descrito tanto en Jaén como en Granada

(Galán *et al.*, 2016). Este aumento puede ser explicado en primer lugar por la influencia de los parámetros meteorológicos, de hecho en su trabajo, Oteros *et al.* (2013b) indicaron que el ciclo reproductivo del olivo está directamente influenciado por las variables meteorológicas en la fase previa a la floración. En el segundo lugar, la tendencia al aumento de los niveles de polen de *Olea* puede ser relacionado con el uso del suelo. Actualmente el método de producción de los olivares en Málaga está adoptando un sistema intensivo sobre todo para la producción de aceituna de mesa, según recoge la encuesta sobre la superficie y rendimientos de cultivos (ESYRCE, 2015). Por otra parte, la utilización de un sistema de regadío por goteo, junto con el uso de abonos aplicados por fertirrigación, así como el uso de variedades de alto rendimiento (García-Mozo, 2011), son factores que tienen un impacto directo sobre la producción polínica del olivo. En este sentido, García-Mozo *et al.* (2016) explicaron que las tendencias observadas del polen de olivo en el aire deben examinarse no sólo en términos del impacto potencial del cambio climático, sino también teniendo en cuenta el efecto de los cambios en el uso del suelo.

Durante el periodo 1992-2015, se ha observado un adelantado en la fecha de inicio del PPP del polen de *Olea*, aunque no resultó ser estadísticamente significativo (Fig. 4.73). Este comportamiento ha sido observado en otras localidades de la región mediterránea (Aguilera *et al.*, 2014; Avolio *et al.*, 2012; Bonofiglio *et al.*, 2009, 2013; Sicard *et al.*, 2012; Orlandi *et al.*, 2013a, 2014) y también en diferentes sitios en el sur de España (Díaz de la Guardia *et al.*, 2003; Galán *et al.*, 2005; García-Mozo *et al.*, 1999). Varios trabajos realizados sobre el *Olea* han puesto de manifiesto la importancia de los parámetros meteorológicos sobre el comportamiento de la estación polínica, tal como el efecto directo de las temperaturas acumuladas y la disponibilidad del agua en la determinación de inicio de la floración del olivo (Rallo & Martín 1991; Galán *et al.*, 2005; Ribeiro *et al.*, 2007; Aguilera & Ruiz-Valenzuela, 2009). Por otra parte, se ha observado un retraso no significativo en la fecha de final de PPP (Fig. 4.74), razón por la cual se observó una tendencia de alargamiento en la duración de la estación polínica de *Olea* (Fig. 4.72). Resultados similares de tendencia de alargamiento de la duración del PPP de *Olea* analizando un periodo de 30 años (1982-2011), ha sido observado en Córdoba (García-Mozo *et al.*, 2014). En un estudio similar de evaluación de tendencias del polen de *Olea*, Fernández-Rodríguez *et al.* (2016) señalaron que el comportamiento observado, ya sea tanto retraso como de un adelanto, a parte de la influencia del fenómeno cambio climático, podría ser dependiente de los años analizados, es decir que el número de los años que forma parte de la serie analizada puede ser un factor que determine el comportamiento seguido por los componentes de la estación de polinación.

En lo que se refiere a la dinámica del día pico del polen de *Olea*, se ha observado un retraso de la fecha en la que se alcanzan las concentraciones máximas en la atmósfera de Málaga mientras se ha observado un ligero aumento de los valores pico, aunque las tendencias no fueron estadísticamente significativas en ambos casos.

La distribución intradiaria del polen de *Olea* no mostró un pico claro a una determinada hora del día (Fig. 4.78). Los bajos valores del IDI obtenidos pusieron de manifiesto que los niveles de polen alcanzan valores similares a lo largo del día y que los picos no se producen a una hora concreta. Este comportamiento fue similar al observado en Porto (Portugal) (Ribeiro *et al.*, 2008) y Hornachuelos (García-Mozo *et al.*, 2007), mientras que la variación intradiaria establecida para



Córdoba (Galán *et al.*, 1991) mostró un incremento de las concentraciones en torno al 15% en las horas centrales del día, dicho comportamiento ha sido detectado en Málaga sólo en los años 2007 y 2011, años en los que se alcanzaron picos máximos que superaron el 16% del total medio diario.

Las correlaciones entre las concentraciones medias diarias teniendo en cuenta el periodo de PPP completo de todos los años junto y los parámetros meteorológicos muestran que las temperaturas, la dirección y la velocidad media del viento juegan un papel importante en los niveles de polen de olivo en Málaga durante los años de estudio. En el caso de las temperaturas, durante el periodo pre-pico, se obtuvieron coeficientes positivos y significativos, mientras que durante el periodo post-pico los valores suelen tornarse negativos. Esto es debido a que durante el periodo pre-pico, las concentraciones polínicas aumentan al tiempo que lo hacen las temperaturas, mientras que durante el periodo post-pico las temperaturas siguen aumentando, pero la tendencia de las concentraciones polínicas es a disminuir. Esta relación existente entre los niveles de polen de *Olea* y las temperaturas ha sido puesta de manifiesto en estudios llevados a cabo en Córdoba (Domínguez Vilches *et al.*, 1993b) y en Málaga (Recio *et al.*, 1996). Docampo (2008) sugiere que el viento procedente del norte, es el que aporta más polen de *Olea* a la atmósfera, lo que explicaría el signo negativo de las correlaciones con las temperaturas. Por otra parte, las horas de sol presentaron correlaciones positiva y significativa durante el pre-pico. De hecho, este parámetro, junto con el aumento de las temperaturas, actúa sobre la deshidratación y la dehiscencia de las anteras, y por lo tanto la liberación del grano de polen, favoreciendo el aumento de los niveles en el aire.

El viento influye de manera muy directa en la cantidad de polen detectado. Así, el signo negativo de los coeficientes de correlación obtenidos con el viento del segundo cuadrante, por el hecho que este procede del mar, es lo que provoca una disminución de los niveles de polen. Por el contrario, el signo positivo del coeficiente de correlación con el viento del cuarto cuadrante, nos indica que el aire procedente del norte-noroeste trae consigo polen de olivo originados en zonas más interiores. Por otra parte, los periodos de calma se correlacionaron negativamente con las concentraciones de polen mientras por lo que, a la vista de los resultados obtenidos, los incrementos en la velocidad del viento parecen favorecer su dispersión.

La humedad relativa y las precipitaciones ejercieron una escasa influencia sobre los registros de polen durante el PPP (abril-junio), esto es debido a que la humedad relativa disminuye en este periodo y los días de lluvia durante el PPP son escasos y ésta solo tiene un efecto negativo sobre los niveles de polen al originar un lavado sobre las partículas presentes en la atmósfera.

Se han publicado muchos trabajos sobre modelos de pronóstico de polen de olivo tanto para las concentraciones medias diarias como para el inicio del periodo de polinación y fechas en las que se producen los picos (Frenguelli *et al.*, 1989; Recio *et al.*, 1997a; Galán *et al.*, 2001; Rodríguez Rajo *et al.*, 2004a; Alba *et al.*, 2006; Ribeiro *et al.*, 2006), en cada uno de ellos se utilizan parámetros meteorológicos diferentes en función de las particularidades de la zona de estudio. En nuestro estudio, los modelos de pronósticos han sido realizado para las concentraciones de polen de *Olea* durante el periodo pre-pico. Vázquez *et al.* (2003) indicaron que los mejores modelos de pronósticos de *Olea* se obtuvieron principalmente para el periodo pre-pico. Este periodo es más fiable para los fenómenos biológicos tales como la emisión de polen en comparación del periodo total de floración, debido a varios factores que ocurren cuando la

concentración de polen de olivo está disminuyendo, como la presencia de polen originario de sitios lejanos del sitio de muestreo, de la resuspensión, etc. Así, en nuestro caso, el mejor modelo ha sido conseguido con la concentración del día anterior, la D-media, la frecuencia del viento del cuarto cuadrante y la temperatura media, ya que fueron los parámetros que mejor explicaron la variabilidad de las concentraciones medias diarias del polen de *Olea* en pre-pico.

Por otro lado, si tenemos en cuenta la validación del modelo, comparando datos observados con los esperados durante el prepico del año 2016, podemos concluir que, aunque el modelo 4b (Tabla 4.59), presenta un coeficiente de *Spearman* altamente significativo entre los ambos recuentos comparados, pero no podemos afirmar que es un buen modelo de predicción de las concentraciones medias diarias del polen de *Olea*, debido a los resultados obtenidos de la prueba de *Wilcoxon* indicaron que existía una diferencia significativa entre los valores esperados y observados.

La tendencia positiva observada en el número de días con niveles (Fig. 4.71), de la categoría baja (1-50 g.p./m<sup>3</sup>), moderada (51-200 g.p./m<sup>3</sup>) y sobre todo la alta (>200 g.p./m<sup>3</sup>) puede presentar una información útil para la población local de la ciudad de Málaga ya que según Fernando Florido *et al.* (1999), el umbral crítico para expresar síntomas de alergia al polen de *Olea* es 400 g.p./m<sup>3</sup>.

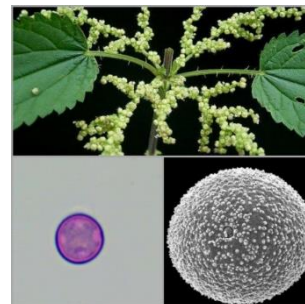
En la región mediterránea, aunque el olivo es de una gran importancia económica, muchos estudios han demostrado la alta alergenicidad del polen de esta especie y los riesgos asociados para la salud humana (Lauzurica *et al.*, 1988; González-Minero & Caudau, 1996; Barber *et al.*, 2007; D'Amato *et al.*, 2007; Ladeira *et al.*, 2011). Este problema también se ha puesto de manifiesto en la mayor parte de las zonas oliveras de otros países, especialmente en Italia y Francia, con un porcentaje de 25% de los pacientes atópicos presentando sintomatología alérgica a este tipo polínico (D'Amato & Licardi, 1994; Negrini *et al.*, 1992) mientras entre los 22,1 % y el 57,3% en Grecia dependiendo de la zona de la que se trate (Papageorgiou, 1999). En España, la prevalencia de alergias varía en función de la zona estudiada. En Jaén y en Sevilla supera el 90% entre los pacientes con polinosis (Subiza *et al.*, 1998), mientras en Málaga, este porcentaje es algo inferior, con un porcentaje de incidencia del 62% (Torrecillas *et al.*, 1998).

El polen de *Olea* presenta una compleja mezcla de proteínas alergénicas donde apenas se han descrito la mitad de las 20 bandas (Conde *et al.*, 2002), siendo *Olea* e 1, el principal alérgeno. Este polen presenta reactividad cruzada con otros pertenecientes a géneros de la misma familia como *Fraxinus* y *Ligustrum* (Lombardero *et al.*, 2002), así como con polen de varias especies de gramíneas, *Artemisia vulgaris* y *Betula verrucosa* (González *et al.*, 2000).



### 4.3.6. El tipo polínico *Parietaria*

Presentan este tipo polínico diversas especies de la familia Urticaceae que viven principalmente sobre muros, fisuras y suelos nitrificados y con cierto grado de humedad. En Málaga, las especies más frecuentes son *Parietaria judaica* L., *P. lusitanica* L., *P. mauritanica* Durieu, *Urtica dioica* L., *U. urens* L.



#### 4.3.6.1. Descripción botánica

En general, se trata de hierbas de porte pequeño a medio, anuales o perennes. Las hojas son enteras y alternas, de margen entero o dentado, algunas veces con pelos urticantes (*Urtica*). Las inflorescencias se disponen en las axilas de las hojas y están constituidas por flores de perianto reducido que pueden ser unisexuales o, más raramente, hermafroditas. Fruto de tipo núcula de pequeño tamaño.

#### 4.3.6.2. Época de floración/polinización

El periodo de floración está comprendido entre los meses de enero y octubre. La polinización es de tipo anemófila, a veces con deshiscencia explosiva de los estambres (*Parietaria*).

#### 4.3.6.3. Morfología polínica

Polen trizonoporado, a veces tetrazonoporado. Isopolar y radiosimétrico. Circular o sub-triangular en vista polar y de circular a elíptico en vista ecuatorial. De oblado-esferoidal a esferoidal. Tamaño pequeño, entre 13 y 20  $\mu\text{m}$  de diámetro. Los poros miden 1,5  $\mu\text{m}$  de diámetro aproximadamente, presentan un anillo y un opérculo, apenas visible con el microscopio óptico, ya que se desprende con facilidad. La exina posee menos de 1  $\mu\text{m}$  de grosor. La superficie tiene una ornamentación microequinaluda-granulosa, con espínulas y gránulos de tamaño menor a 0,5  $\mu\text{m}$  y distribución irregular. La intina forma unos engrosamientos muy marcados por debajo de las aberturas.

#### 4.3.6.4. Variación interanual

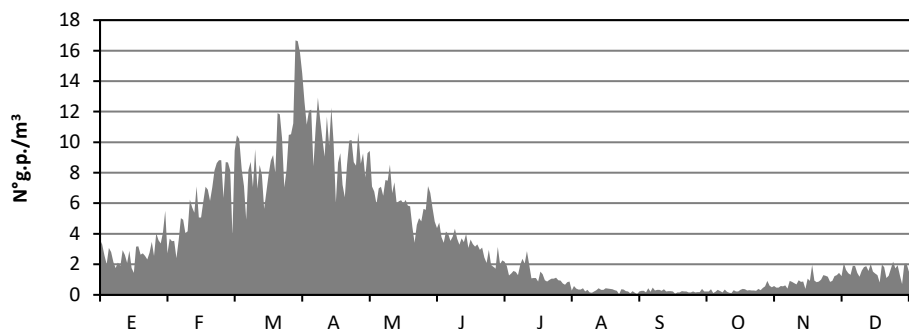
Este tipo polínico representa el 3,76% del polen total del periodo estudiado, ocupando la séptima posición en cuanto a los tipos más abundantes. El IPA medio obtenido para este tipo polínico ha sido de 1.275, si bien, se ha observado que el comportamiento interanual fue relativamente estable ya que los registros oscilaron entre 869 (año 2012) y 2.103 (año 1996) (Tabla 4.61).

| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 912   | 4,12    | 17          |
| 1993  | 1.243 | 4,08    | 14          |
| 1994  | 1.534 | 5,63    | 12          |
| 1995  | 1.078 | 5,26    | 12          |
| 1996  | 2.103 | 4,92    | 13          |
| 1997  | 1.105 | 1,68    | 7           |
| 1998  | 1.151 | 3,36    | 10          |
| 1999  | 990   | 2,17    | 8           |
| 2000  | 1.106 | 3,40    | 21          |
| 2001  | 1.659 | 3,79    | 12          |
| 2002  | 1.143 | 3,66    | 14          |
| 2003  | 1.431 | 3,61    | 9           |
| 2004  | 928   | 3,69    | 16          |
| 2005  | 871   | 2,04    | 13          |
| 2006  | 1.342 | 4,96    | 13          |
| 2007  | 1.533 | 3,30    | 9           |
| 2008  | 1.306 | 4,07    | 11          |
| 2009  | 1.340 | 3,23    | 10          |
| 2010  | 1.320 | 3,25    | 14          |
| 2011  | 1.099 | 3,96    | 13          |
| 2012  | 869   | 2,95    | 19          |
| 2013  | 1.961 | 4,69    | 15          |
| 2014  | 1.512 | 3,69    | 9           |
| 2015  | 1.054 | 3,48    | 13          |
| Media | 1.275 | 3,76    | 13          |

**Tabla 4.61.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

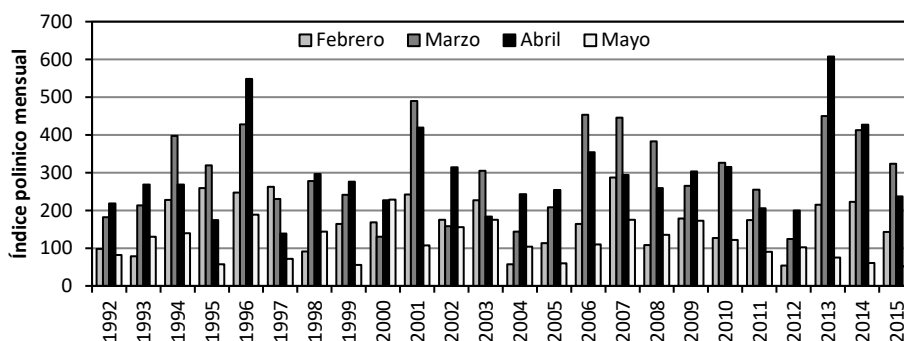
#### 4.3.6.5. Variación estacional

Al considerar el periodo total estudiado, se observa que el polen de *Parietaria* aparece en la atmósfera de Málaga durante todo el año, con un periodo de máxima incidencia entre los meses de febrero-abril, si bien durante el mes de enero y también en mayo y junio se detectan niveles importantes de este polen. Dichos niveles descienden durante el verano (julio, agosto y septiembre), manteniéndose bajos durante los meses de otoño (octubre, noviembre y diciembre) (Fig. 4.80). En lo que se refiere a la distribución semanal, se observa que las concentraciones máximas de este tipo aparecieron en la atmósfera entre las semanas 7 (año 1997) y 21 (año 2000) (Tabla 4.61).



**Figura 4.80.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En cuando al comportamiento de las concentraciones mensuales, en cada año por separado, se muestra que los índices polínicos mensuales más elevados del tipo polínico *Parietaria* se alcanzaron durante los meses de marzo-abril, siendo el mes de abril cuando se detectaron los registros más elevados, los cuales oscilaron entre 139 (año 1997) y 608 (año 2013). Cabe señalar que el año 1997, el índice polínico mensual más alto se alcanzó en el mes de febrero. Por otra parte, se observó que en el año 2000 se registraron índices polínicos mensuales similares en los meses de abril y mayo, con un valor de 229 (Fig. 4.81).



**Figura 4.81.** Índices polínicos mensuales obtenidos en febrero, marzo, abril y mayo para el tipo polínico *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Al considerar cada año por separado, se observa que la distribución de las concentraciones medias diarias refleja un comportamiento similar al la media de los 24 años, apareciéndose sólo diferencias referidas al momento en el que se detectan los valores más elevados. De hecho, se observa que hay una marcada estacionalidad con dos periodos bien definidos, el primero, más importante que comienza en el mes de enero y termina finales de julio mientras el segundo, que aparece en los últimos meses del año noviembre-diciembre aunque con concentraciones medias diarias muy bajas, si bien este último habría que considerarlo el inicio del primero.

Los niveles registrados fueron inferiores al promedio en los años 1992, 1997, 1998, 1999, 2004, 2005 y 2012. Por otra parte, se observan diferencias en las fechas en las que se producen los picos máximos y sus concentraciones. Los días picos se detectaron entre los meses de marzo

y abril con picos máximos históricos de 54 g.p./m<sup>3</sup> de media diaria (mes de marzo) y 86 g.p./m<sup>3</sup> (mes de abril) durante todo el periodo estudiado. Cabe destacar que en los años 1997, 1998, 1999 y 2007, se registraron los máximos de concentraciones medias diarias en el mes de febrero con un pico histórico de 51 g.p./m<sup>3</sup> para este mes. Durante el otoño, las concentraciones medias diarias no superan los 19 g.p./m<sup>3</sup>, como valor pico histórico (Fig. 4.82).

### 4.3.6.6. Periodo de Polinación Principal

Para analizar el comportamiento del PPP del polen de *Parietaria*, no se han considerado años naturales, sino los meses comprendidos entre octubre y septiembre del siguiente año (Tabla 4.62). Así, este tipo se caracteriza por tener un PPP muy prologando, con duración media de 227 días. La dinámica de este periodo revela que éste ha presentado un comportamiento estable que se repite de forma relativamente constante con una duración generalmente igual o superior al promedio, destacando los años 2006-2007 y 2013-2014 por presentar una duración inferior a la media, con 189 y 196 días, respectivamente. El índice polínico del PPP presentó un valor promedio para el periodo estudiado de 1.218, con un máximo de 1.936 (año 1995-1996) mientras que el mínimo fue de 808 (año 2011-2012). En general, dicho índice superó el valor de 1.000, excepto en los periodos anuales 2004-2005 (812), 1991-1992 (856), 1998-1999 (913), 2003-2004 (992).

El inicio del PPP del polen de *Parietaria* ocurre el día 23 de noviembre, mientras el final de la estación tiene lugar el día 7 de julio, como fechas promedio. Si nos fijamos en cada año por separado, observamos que aparecen diferencias de un año a otro en cuando al inicio y final de la estación polínica, a pesar de que las fechas obtenidas se localizaron durante los meses de noviembre y julio respectivamente. Así, la fecha más temprana del inicio fue el día 08 de noviembre mientras la más tardía fue el 25 de diciembre. Cabe señalar que en los años 1996-1997 y 2001-2002, se observó un adelanto de las fechas de inicio ya que tuvieron lugar en los días 30 y 31 de octubre, respectivamente. Por otra parte, las fechas de final del PPP fueron también poco estables, ya que oscilaron entre los meses de junio y julio con el día 11 de junio con fecha más temprana y el 26 de julio como la más tardía, durante el periodo completo de estudio. La fecha promedio calculada para el día pico fue 22 de marzo con una media de 40 granos de polen/m<sup>3</sup>. Esas fechas fueron muy variables en la serie de años analizada, al igual que lo han sido también las concentraciones máximas registradas. El valor del pico máximo ha fluctuado entre un mínimo de 17 granos de polen/m<sup>3</sup> y máximo de 86. Por otra parte, la duración del periodo post-pico del polen de *Parietaria* fue algo más corta que la del pre-pico, con una media de 112 y 116 días, respectivamente, si bien el índice polínico medio para este periodo post-pico (683) fue algo más elevado, en comparación con el obtenido para el periodo pre-pico (535).

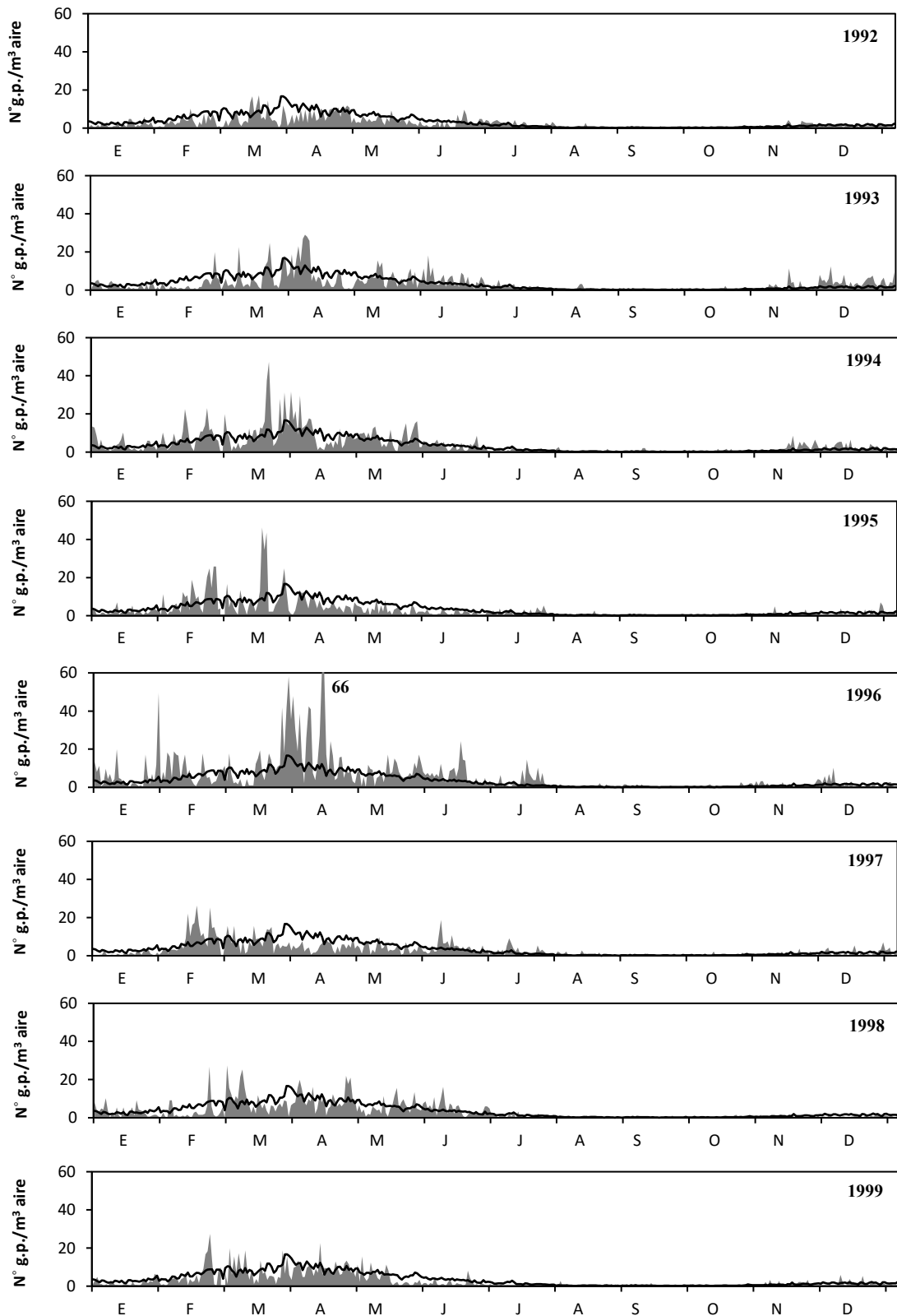


Figura 4.69. Concentraciones medias diarias de polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).



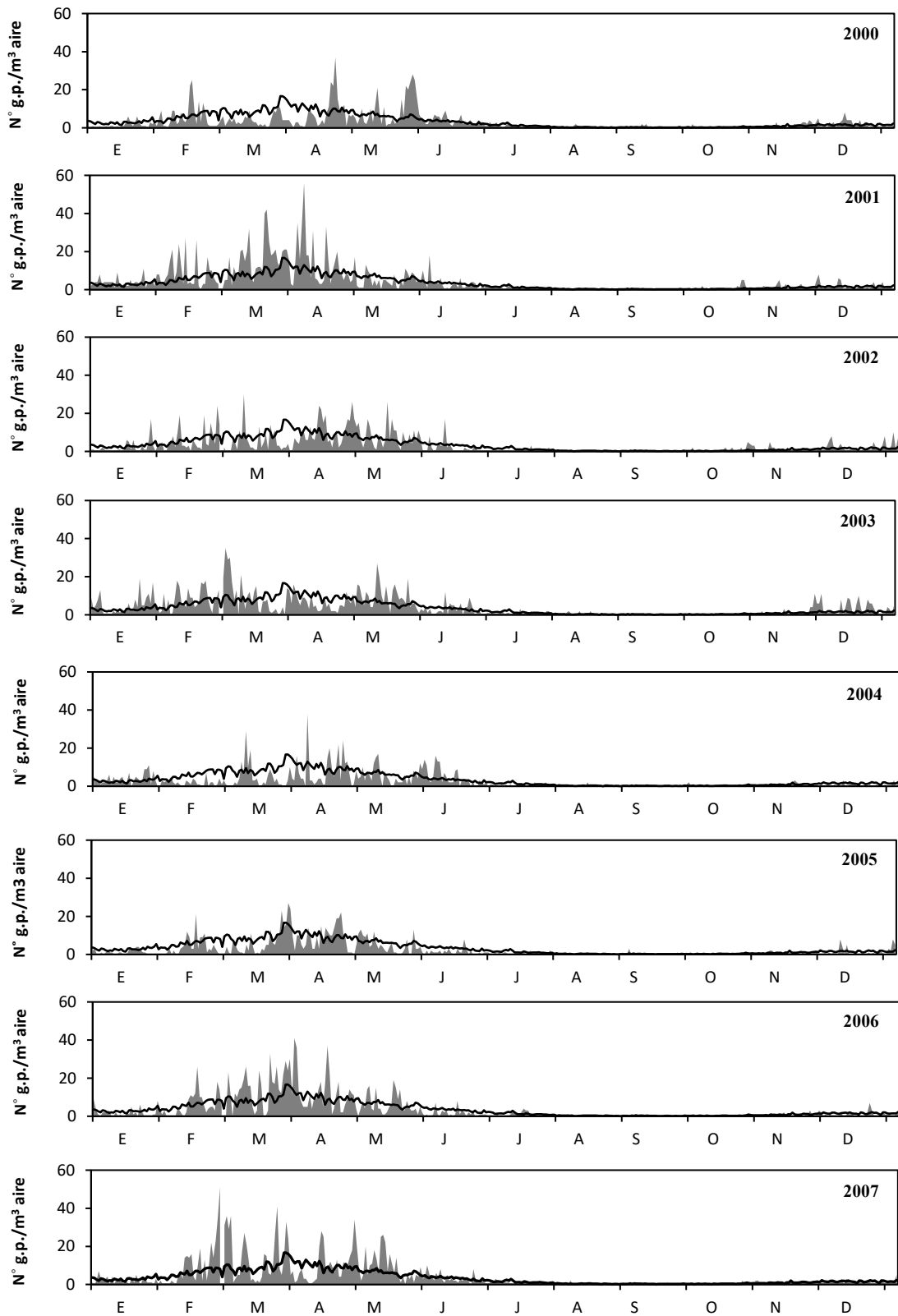


Figura 4.82. Continuación.

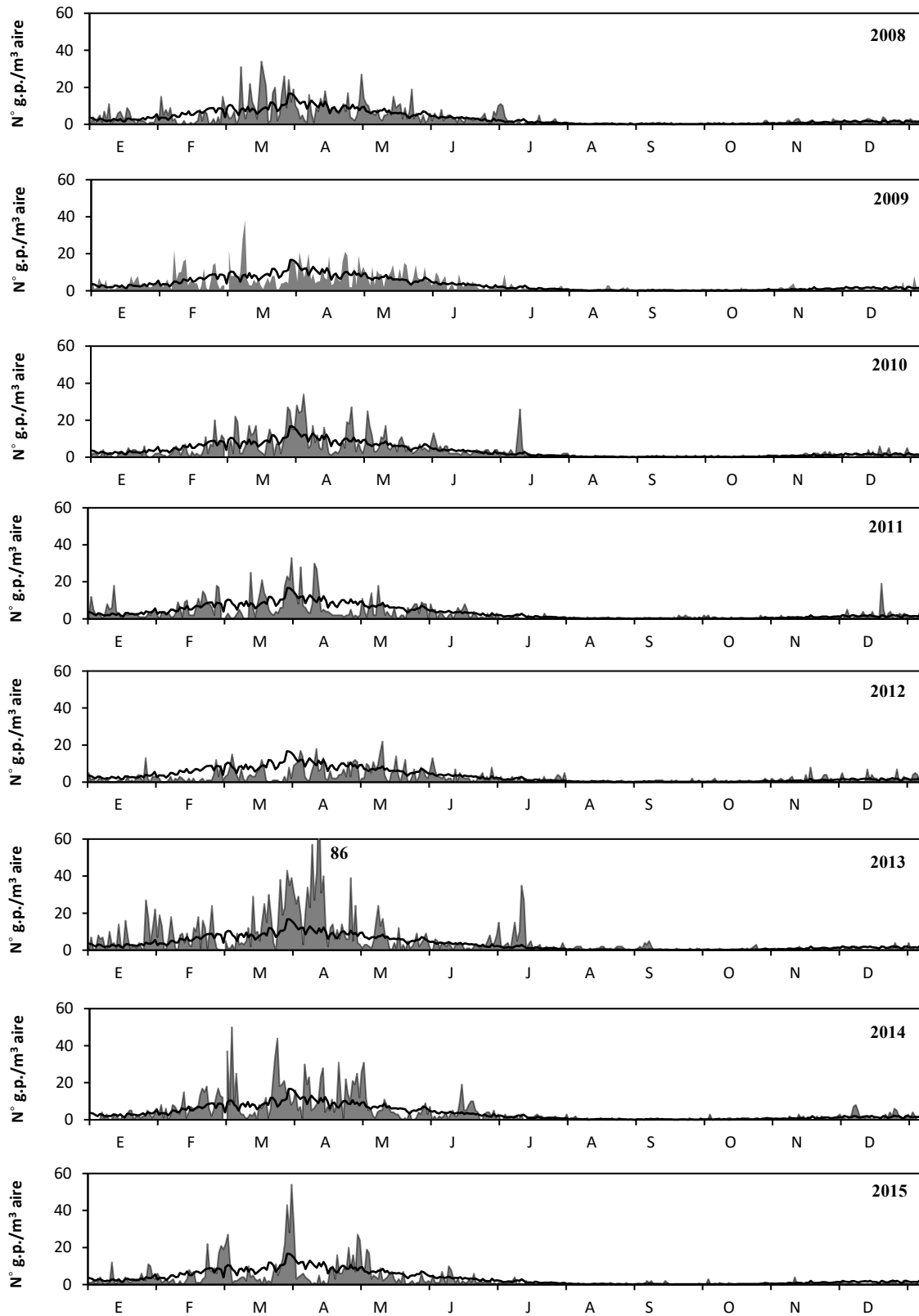


Figura 4.82. Continuación.

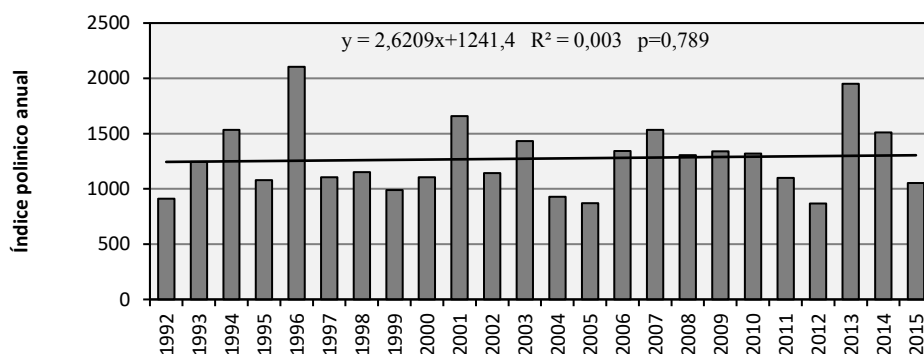
| Periodo   | PPP (95%)               |          |                | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|----------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(I.P) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1991-1992 | 18-11 (49)/26-07 (299)  | 252      | 856            | 15-03-92 (166)  | 17                                     | 118      | 257           | 134       | 599           |
| 1992-1993 | 20-11 (51)/25-07 (298)  | 249      | 1.066          | 08-04-93 (190)  | 29                                     | 139      | 519           | 110       | 547           |
| 1993-1994 | 15-11 (46)/30-06 (273)  | 229      | 1.506          | 21-03-94 (172)  | 47                                     | 56       | 706           | 173       | 800           |
| 1994-1995 | 11-11 (42)/19-07 (292)  | 252      | 1.119          | 18-03-95 (169)  | 46                                     | 127      | 568           | 125       | 551           |
| 1995-1996 | 25-12 (86)/19-07 (292)  | 208      | 1.936          | 14-04-96 (196)  | 66                                     | 110      | 1.205         | 98        | 731           |
| 1996-1997 | 30-10 (30)/26-07 (299)  | 271      | 1.075          | 17-02-97 (140)  | 26                                     | 110      | 239           | 161       | 836           |
| 1997-1998 | 22-11 (53)/08-07 (281)  | 230      | 1.151          | 22-02-98 (145)  | 27                                     | 92       | 212           | 138       | 939           |
| 1998-1999 | 11-12 (72)/28-06 (271)  | 201      | 913            | 23-02-99 (146)  | 27                                     | 74       | 173           | 127       | 740           |
| 1999-2000 | 20-11 (51)/10-07 (283)  | 234      | 1.022          | 22-04-00 (204)  | 37                                     | 153      | 507           | 81        | 515           |
| 2000-2001 | 27-11 (58)/20-06 (263)  | 207      | 1.561          | 07-04-01 (189)  | 56                                     | 131      | 1.027         | 76        | 534           |
| 2001-2002 | 31-10 (31)/11-06 (254)  | 225      | 1.091          | 11-03-02 (162)  | 30                                     | 131      | 372           | 94        | 719           |
| 2002-2003 | 08-11 (39)/29-06 (272)  | 235      | 1.351          | 03-03-03 (154)  | 35                                     | 115      | 513           | 120       | 838           |
| 2003-2004 | 24-11 (55)/30-06 (273)  | 220      | 992            | 07-04-04 (190)  | 38                                     | 135      | 481           | 85        | 511           |
| 2004-2005 | 30-11 (61)/25-06 (268)  | 209      | 812            | 30-03-05 (181)  | 27                                     | 120      | 329           | 89        | 483           |
| 2005-2006 | 07-12 (68)/08-07 (281)  | 215      | 1.296          | 02-04-06 (184)  | 41                                     | 116      | 711           | 99        | 585           |
| 2006-2007 | 19-12 (80)/24-06 (267)  | 189      | 1.494          | 28-02-07 (151)  | 51                                     | 71       | 308           | 118       | 1.186         |
| 2007-2008 | 08-12 (69)/03-07 (276)  | 209      | 1.189          | 16-03-08 (167)  | 34                                     | 98       | 357           | 111       | 832           |
| 2008-2009 | 15-11 (46)/22-07 (295)  | 251      | 1.303          | 09-03-09 (160)  | 38                                     | 114      | 455           | 137       | 848           |
| 2009-2010 | 12-11 (43)/07-07 (280)  | 239      | 1.258          | 04-04-10 (186)  | 34                                     | 143      | 625           | 96        | 633           |
| 2010-2011 | 16-11 (47)/12-07 (285)  | 240      | 1.046          | 31-03-11 (182)  | 33                                     | 135      | 563           | 105       | 483           |
| 2011-2012 | 29-11 (60)/26-07 (299)  | 241      | 808            | 09-05-12 (221)  | 22                                     | 162      | 576           | 79        | 232           |
| 2012-2013 | 22-11 (53)/24-07 (297)  | 246      | 1.929          | 12-04-13 (194)  | 86                                     | 141      | 1.206         | 105       | 723           |
| 2013-2014 | 25-12 (86)/07-07 (280)  | 196      | 1.379          | 03-03-14 (154)  | 50                                     | 68       | 353           | 128       | 1.026         |
| 2014-2015 | 17-11 (48)/02-07 (275)  | 229      | 1.079          | 31-03-15 (182)  | 54                                     | 135      | 586           | 94        | 493           |
| 1991-2015 | 23-11 (55)/07-07 (281)  | 227      | 1.218          | 22-03 (173)     | 40                                     | 116      | 535           | 112       | 683           |

Tabla 4.62. Indicadores del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1991-2015).

#### 4.3.6.7. Estudio de tendencias

##### ▪ Índice polínico anual

Los índices polínicos de *Parietaria* presentan un patrón con registros que varían de un año a otro. El análisis de la dinámica de este tipo polínico mediante la regresión lineal apenas muestra una muy ligera tendencia al aumento en la atmósfera de Málaga, aunque podría considerarse nula a tenor del valor del coeficiente de regresión obtenido ( $R^2=0,003$ ). Este hecho ha sido confirmado también mediante la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=0,022$ ;  $p=0,903$ ). El valor de la pendiente de *Sen* fue de signo positivo, igual a 2,66 (Fig. 4.83, Tabla 4.63).



**Figura 4.83.** Evolución del índice polínico anual del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,022             | 0,903 | 2,66             |

**Tabla 4.63.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

##### ▪ Niveles del polen de *Parietaria*

El comportamiento de la evolución del número de días teniendo en cuenta los diferentes niveles de las concentraciones de polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga, durante los años analizados, se ha establecido según la categoría del grupo 1 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007). Se observa que el número de días con niveles nulos ( $<1$  g.p./m<sup>3</sup>) fue de 138 ( $\pm 24$ ) como promedio, fluctuando entre los 94 y 180 días. En cuando a los niveles bajos (1-15 g.p./m<sup>3</sup>), mostraron una media de 208 días ( $\pm 22$ ). Para las dos categorías de niveles moderados y altos, se observa que la media fue de 14 días para la primera categoría (16-30 g.p./m<sup>3</sup>) mientras sólo fue de 3 días para la segunda ( $>30$  g.p./m<sup>3</sup>). El número de días con niveles moderados osciló entre 2 y 24, mientras el número de días con niveles superiores a 30 g.p./m<sup>3</sup> osciló entre 0 y 13, mostrando un coeficiente de variación del 133% (Tabla 4.64).

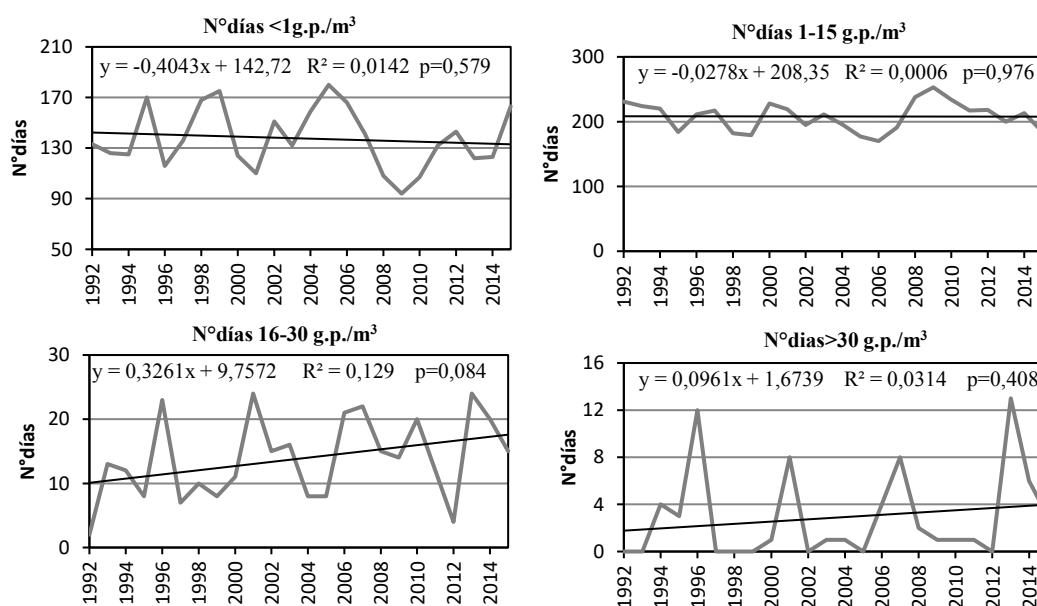
| Niveles                           | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1g.p./m <sup>3</sup>     | 94     | 180    | 138   | 24           | 17     |
| Nº días 1-15 g.p./m <sup>3</sup>  | 170    | 253    | 208   | 22           | 11     |
| Nº días 16-30 g.p./m <sup>3</sup> | 2      | 24     | 14    | 6            | 43     |
| Nº días >30 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 13     | 3     | 4            | 133    |

**Tabla 4.64.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

El análisis estadístico realizado para evaluar el comportamiento del nº de días en función de los niveles de polen de *Parietaria* muestra una ligera tendencia negativa tanto en la categoría de niveles nulos (<1 g.p./m<sup>3</sup>) como bajos (1-15 g.p./m<sup>3</sup>), revelando una tendencia a la disminución de los días con esos niveles en la atmósfera de Málaga. Por el contrario, se ha observado una tendencia positiva de los números de días con la categoría de niveles moderados (16-30 g.p./m<sup>3</sup>) y altos (>30 g.p./m<sup>3</sup>), lo que indica una tendencia al aumento del número de días con esos niveles. En ningún caso las tendencias fueron estadísticamente significativas (Tabla 4.65, Fig. 4.84).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,105            | 0,487 | -0,31            |
| Nº días 1-15 g.p./m <sup>3</sup>   | -0,084            | 0,585 | -0,38            |
| Nº días 16-30 g.p./m <sup>3</sup>  | 0,245             | 0,105 | 0,36             |
| Nº días > 30 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,214             | 0,175 | 0,05             |

**Tabla 4.65.** Resumen de los resultados del Test de tendencia de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Parietaria*, en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

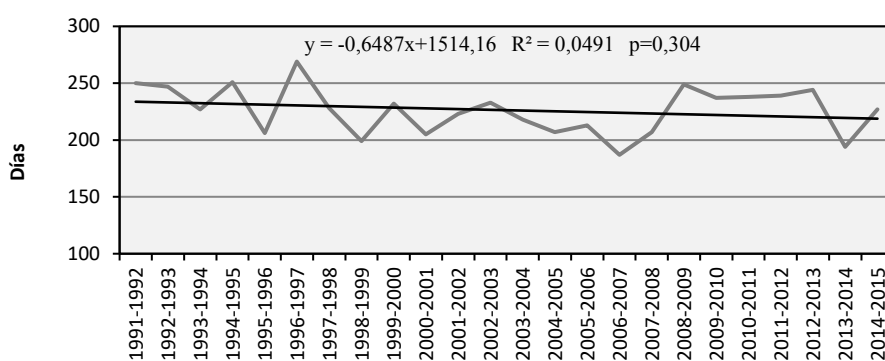


**Figura 4.84.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).



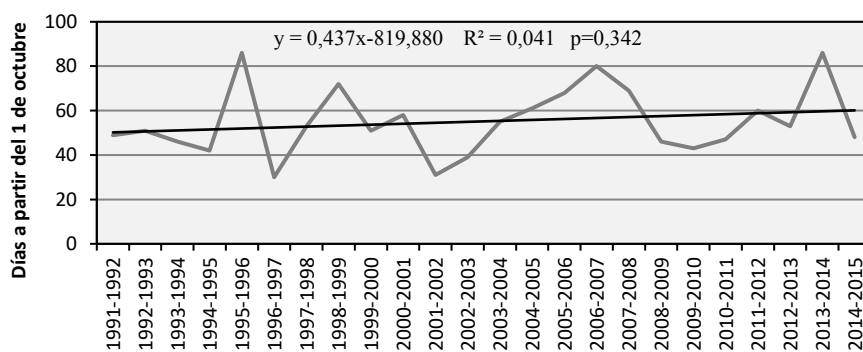
### ▪ Parámetros del PPP

La figura 4.85 muestra las oscilaciones de la **duración del periodo de polinación principal** del polen de *Parietaria* durante el periodo 1991-2015. Asimismo, se observa una pendiente negativa de la línea de regresión, aunque ésta resultó ser estadísticamente no significativa, lo que indica una ligera tendencia al acortamiento de la duración del PPP de este tipo polínico. Lo mismo se observa mediante del test *Mann-Kendall* ( $Z=-0,121$ ,  $p=0,427$ ), coincidiendo con los resultados de la regresión lineal. Este periodo presentó una duración de 227 días ( $\pm 20$ ) como media durante el periodo estudiado. El porcentaje de variación de la duración de PPP ha sido muy bajo, con un valor igual al 8%. La tendencia observada viene explicada por la pendiente de *Sen* con un valor igual a  $-0,56$  (Tabla 4.66).



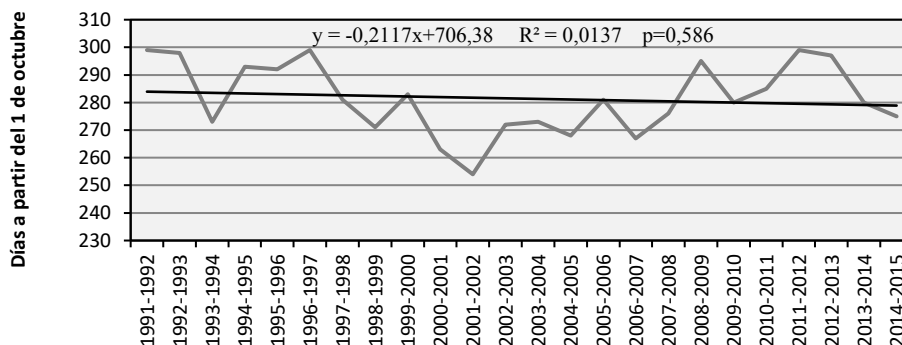
**Figura 4.85.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

En lo que se refiere al **inicio del PPP** de este tipo polínico, tanto en el estudio de regresión como en el test de *Mann-Kendall*, se aprecia una tendencia positiva aunque no significativa ( $Z=-0,191$ ,  $p=0,286$ ), lo cual revela al retraso en el comienzo de la estación polínica principal. La fecha media del inicio (tomada desde el 1 de octubre al 30 de septiembre) fue el 23 de noviembre ( $55 \pm 15$ ), con un porcentaje de variación del 27%. La prueba de estimación de la pendiente de *Sen* arrojó un valor con signo positivo igual a  $0,50$  (Fig. 4.86, Tabla 4.66).



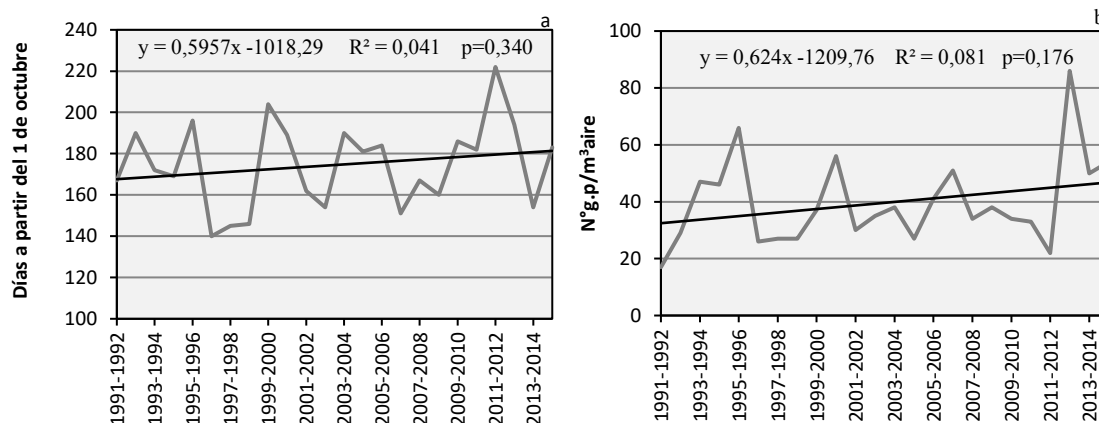
**Figura 4.86.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

El test de *Mann-Kendall* para el final del periodo de polinación principal de *Parietaria* mostró una tendencia negativa, aunque estadísticamente no significativa, lo que indica un adelanto del **final** de la estación polínica ( $Z=-0,077$ ,  $p=0,619$ ), coincidiendo con los resultados de la regresión lineal, también con ausencia de una tendencia significativa. El final del PPP presentó el 7 de julio ( $281\pm 13$ ) como fecha promedio. La pendiente de *Sen* obtenida fue igual a  $-0,13$  (Fig. 4.87, Tabla 4.66).



**Figura 4.87.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

En cuanto al comportamiento del **día pico**, el test de *Mann-Kendall* muestra una tendencia positiva pero no significativa ( $Z=0,106$ ,  $p=0,487$ ), al igual que la ecuación de regresión, lo que indica un cierto retraso en estas fechas durante el periodo estudiado. La fecha promedio del día de máxima concentración diaria, se sitúa en el 22 de marzo ( $175\pm 20$ ) presentando un coeficiente de variación del 11%. En lo que se refiere al **valor pico**, se observó un ligero incremento de las concentraciones máximas de este tipo polínico, aunque estadísticamente no significativo ( $Z=0,194$ ,  $p=0,196$ ). La pendiente de *Sen* fue igual a  $0,60$  para el día pico y  $0,59$  para la concentraciones máximas diarias (Fig. 4.88, Tabla 4.66).



**Figura 4.88.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del polen de *Parietaria* (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | 0,191             | 0,286 | 0,50             |
| Final PPP    | -0,077            | 0,619 | -0,13            |
| Duración PPP | -0,121            | 0,427 | -0,56            |
| Día pico     | 0,106             | 0,487 | 0,60             |
| Valor pico   | 0,194             | 0,196 | 0,59             |

**Tabla 4.66.** Resumen de los resultados del análisis del test de *Mann-Kendall* y la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1991-2015).

#### 4.3.6.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

Durante el PPP completo, las correlaciones obtenidas entre las concentraciones de polen de *Parietaria* y las variables meteorológicas consideradas mostraron coeficientes significativos y de signo positivo con los parámetros indicadores del calor (temperaturas y horas de sol), mientras con las precipitaciones, la humedad relativa y el viento de primer cuadrante los coeficientes obtenidos también fueron significativos, pero de signo negativo. No se obtuvieron coeficientes de correlación significativos para el resto de los parámetros. Cuando separamos los periodos pre- y post-pico, se observa un comportamiento similar al indicado durante el PPP completo en el caso de las temperaturas, las horas de sol, la humedad relativa y la precipitación en el periodo pre-pico, pero, además, aparecen correlaciones significativas y positivas con el viento del tercer y cuarto cuadrante. Sin embargo, durante el post-pico, los coeficientes de correlación con las temperaturas y horas de sol cambiaron de signo, apareciendo significativos y de signo negativo. Del mismo modo, con las precipitaciones y la humedad relativa se obtuvieron coeficientes significativos y positivos. Con la dirección del viento, se registraron coeficientes de correlaciones significativos y negativos con los vientos de primer y segundo cuadrante, mientras que para el viento de cuarto cuadrante siguen siendo significativos y positivos, de manera similar a lo obtenido durante el periodo pre-pico. Cabe mencionar que no se observó ninguna correlación con la velocidad media del viento ni con el porcentaje de calmas en los diferentes periodos considerados (Tabla 4.67).

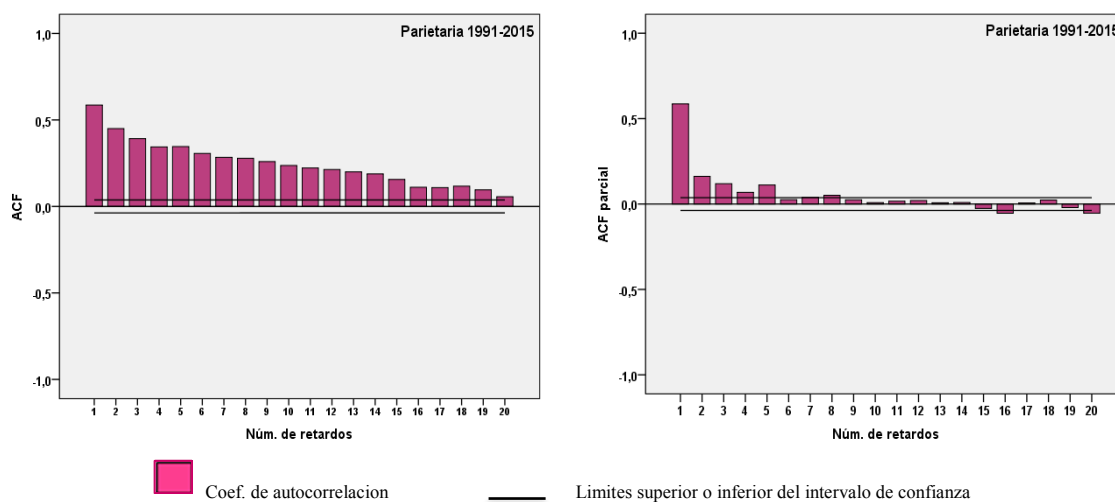
#### 4.3.6.9. Análisis de autocorrelaciones

Al analizar la autocorrelación de la serie de datos de *Parietaria* se observa un gran número de días con coeficientes significativos en los que el valor de los mismos disminuye paulatinamente. Al realizar las autocorrelaciones parciales vemos que los coeficientes descendieron considerablemente mostrándose solamente cinco retardos significativos. Entre éstos destaca la concentración del día previo, que mostró, con diferencia, el mayor valor de coeficiente y la mayor significación. De hecho, este parámetro será considerado en los siguientes análisis de los modelos de pronósticos como un variable independiente predictora (Fig. 4.89).



|                    | PPP<br>N=5479 | Pre-pico<br>N=2866 | Post-pico<br>N=2613 |
|--------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| Precipitación      | -0,097*       | -0,038*            | 0,046*              |
| T <sup>a</sup> max | 0,192***      | 0,074*             | -0,235***           |
| T <sup>a</sup> med | 0,159**       | 0,046*             | -0,263***           |
| T <sup>a</sup> min | 0,084*        | 0,071**            | -0,153**            |
| Humedad rel.       | -0,144**      | -0,088**           | 0,040*              |
| Horas de Sol       | 0,175***      | 0,085*             | -0,078*             |
| V. med. vt         | 0,011         | -0,027             | 0,015               |
| % Vto. 1°C.        | -0,038*       | -0,006             | -0,075*             |
| % Vto. 2°C.        | -0,018        | 0,010              | -0,130**            |
| % Vto. 3°C.        | 0,024         | 0,053*             | -0,003              |
| % Vto. 4°C.        | 0,016         | 0,040*             | 0,146**             |
| Calma              | 0,003         | 0,004              | 0,008               |

**Tabla 4.67.** Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1991-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .



**Figura 4.89.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de concentraciones medias diarias de polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga (1991-2015).



#### 4.3.6.10. Modelos de pronóstico

Al tratar de explicar las concentraciones de polen de *Parietaria* observadas durante el pre-pico en función de las 12 variables meteorológicas seleccionadas, la regresión múltiple por pasos selecciona solamente cinco modelos, presentando todos ellos coeficientes de determinación muy bajos, aunque significativos (Tabla 4.68). En el primer paso, se incorporó la temperatura máxima como variable independiente. Tras los pasos sucesivos elaborados por el programa informático y llegando al quinto paso, se obtuvo un modelo cuyas variables independientes son la temperatura máxima, el viento del cuarto cuadrante, la humedad relativa, el viento del segundo cuadrante, la temperatura mínima, las horas de sol y la velocidad media del viento.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos  | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|---|----------------|-------|
| 1a     | Pariet=0,300 T <sup>a</sup> max-0,975   | 0,018          | 0,000 |
| 2a     | Pariet=0,327 T <sup>a</sup> max+0,018 Vto.4°C-0,378   | 0,023          | 0,000 |
| 3a     | Pariet=0,325 T <sup>a</sup> max+ 0,020 Vto.4°C-0,037 H.R+2,362  | 0,028          | 0,000 |
| 4a     | Pariet= 0,274 T <sup>a</sup> max+ 0,036 Vto.4°C-0,038 H.R-0,027 Vto.2°C +3,824  | 0,035          | 0,000 |
| 5a     | Pariet= 0,230 T <sup>a</sup> max+ 0,037 Vto.4°C-0,037 H.R-0,029 Vto.2°C+0,160<br>T <sup>a</sup> min+0,112 H.S -0,041 Vel.med.vt+4,363 | 0,039          | 0,000 |

**Tabla 4.68.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Parietaria* durante el periodo pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1991-2015).

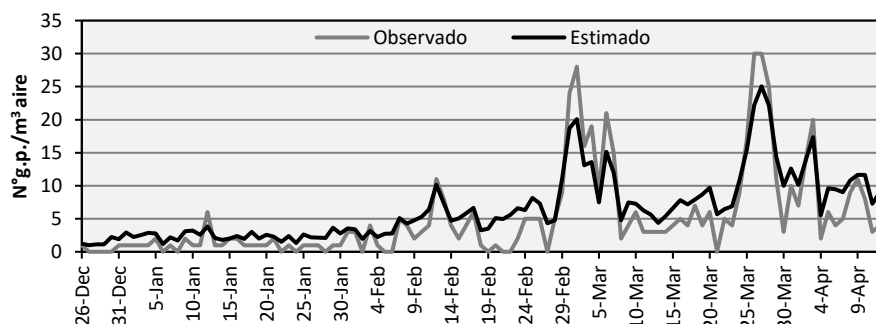
Sin embargo, cuando se incluye en el proceso de regresión múltiple por pasos, otras variables predictoras, como la concentración polínica del día anterior y la D-media, los modelos mejoraron notablemente (Tabla 4.69). En primer paso, se incorpora la concentración del día anterior (Part<sub>t-1</sub>). En el segundo modelo se observa que, a pesar de incorporar la D-media, el valor del coeficiente de determinación sólo aumenta en un 7,3%. Por último, con el paso cuatro, se obtuvo un modelo de pronóstico (modelo 4), el cual incluye la concentración del día anterior del polen de *Parietaria*, la D-media, la temperatura máxima y el viento de tercer cuadrante. Todas las variables presentan un signo positivo explicando el efecto directo de las mismas sobre las concentraciones de polen de *Parietaria* en el aire, alcanzándose un valor de R<sup>2</sup>=0,462. Es de destacar que todos los modelos presentaron valores de R<sup>2</sup> significativos.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1b     | Pariet=0,654 Pariet <sub>t-1</sub> +1,581  | 0,385          | 0,000 |
| 2b     | Pariet=0,493 Pariet <sub>t-1</sub> +0,587 Dmed-0,246   | 0,458          | 0,000 |
| 3b     | Pariet=0,487 Pariet <sub>t-1</sub> +0,586 Dmed+0,098 T <sup>a</sup> max-1,989                | 0,460          | 0,000 |
| 4b     | Pariet=0,484 Pariet <sub>t-1</sub> +0,587 Dmed+0,088 T <sup>a</sup> max+0,023 Vto.3°C -1,960 | 0,462          | 0,000 |

**Tabla 4.69.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Parietaria* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1991-2015).

▪ Validación del mejor modelo

En la figura 4.90, se muestran los valores estimados que se previeron para el periodo 2015-2016 y los valores reales para el mismo. Como se observa, la asociación entre los datos estimados y observados es bastante alta si se considera el valor del coeficiente de correlación de *Spearman* ( $r=0,756$ ). Por otro lado, se realizó un análisis de *Wilcoxon* para la comparación de los promedios entre los recuentos de polen de *Parietaria* durante el prepico del año 2015-2016 y los esperados por el modelo de pronóstico 4b. El resultado nos muestra que, que se obtuvo una alta correlacion significativa, por lo cual observamos que no existe una diferencia significativa entre ambos datos (Tabla 4.70).



**Figura 4.90.** Concentraciones medias diarias del polen de *Parietaria* durante el periodo pre-pico 2015-2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 4b de la ecuación de regresión.

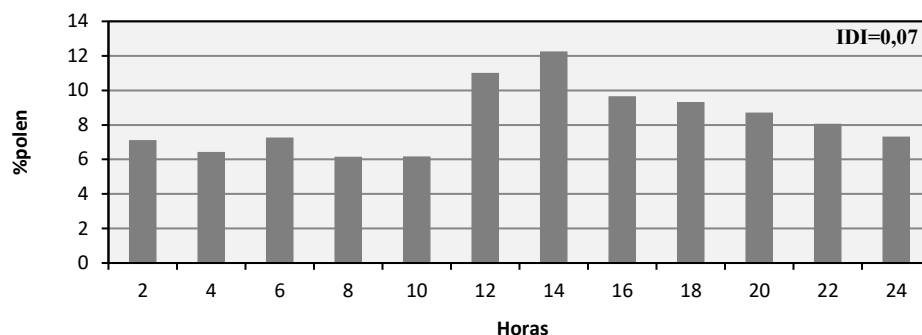
|  | <i>Spearman</i> Test |       | <i>Wilcoxon</i> Test |         |        |       |
|--|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|  | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 4b</b><br>Observado-Estimado | 0,756                | 0,000 | 79                   | 68      | -3,423 | 0,540 |

**Tabla 4.70.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2015-2016), utilizando el mejor modelo obtenido de las ecuaciones de regresión.

**4.3.6.11. Variación intradiaria**

El comportamiento intradiario medio del polen de *Parietaria* observado durante el periodo completo analizado, muestra un incremento de las concentraciones a partir de las 10:00-12:00 horas, alcanzando el pico máximo a las 14:00 horas con el 12% del polen diario. El valor medio del IDI fue bajo, igual a 0,07, indicando una distribución homogénea de este polen a lo largo de las 24 horas del día (Fig. 4.91).





**Figura 4.91.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Si nos fijamos en el comportamiento intradiario de cada año por separado, se observa un patrón diferente en relación a las horas en las que se alcanza las concentraciones máximas de este tipo polínico. De hecho, para el periodo 1992-2006, aparece un incremento de los niveles a las horas centrales del día en torno de las 12:00-14:00 al igual que el patrón promedio. Sin embargo, a partir del año 2007 y hasta 2015, se observó un incremento de las concentraciones máximas en las horas de la tarde, hacia las 16:00-18:00 horas, destacando los años 2011 y 2014 ya que aparecen picos a las 20:00 horas. Los valores de IDI fueron bajos en los distintos años oscilando entre 0,03 (año 1995) y 0,14 (año 2003) (Fig. 4.92).

#### 4.3.6.12. Discusión

Tanto *Parietaria* como *Urtica* son especies de distribución cosmopolita que pertenecen a la familia de Urticaceae (Accorsi & Bandini Mazzanti, 1980). Estas plantas herbáceas se encuentran en muros viejos, bordes de caminos, cultivos y terrenos baldíos siendo frecuentemente en suelos con alto contenido de nitrógeno (Colomo *et al.*, 2003). Su polen es muy frecuente y aparece con mayores concentraciones en la región mediterránea (D'Amato & Spieksma, 1990). En España, el polen de *Parietaria* es más abundante en las zonas costeras como ha sido verificado en nuestro caso ya que se obtuvo un índice polínico medio de 1.275 de este tipo durante el periodo 1992-2015. Este hecho, ha sido observado también en otras zonas costeras (Belmonte *et al.*, 2002; Candau *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2002; Gutiérrez Bustillo *et al.*, 2002; Trigo *et al.*, 2007; Docampo, 2008; Nieto-Lugilde, 2008; Martínez-Bracero *et al.*, 2015). En Europa, este tipo polínico han registrado índices polínicos con fluctuaciones entre 146 y 5.182 en Londres (Emerlin & Norris-Hill, 1990), entre 400 y 3.200 en Derby (Corden & Millington, 1991), mientras en Lublin se detectaron índices polínicos anuales superiores a 15.000 (Wersyszko-Chmielewsh & Piotrowska, 2004).

Durante los años 1991-2015, el periodo de polinación principal fue extremadamente largo, entre noviembre y julio, con una duración media de 227 días (Tabla 4.62). Este comportamiento fue similar al descrito en otras ciudades españolas como Motril, Toledo, Salamanca y Murcia (Nieto-Lugilde, 2008; Pérez-Badia *et al.*, 2010; Rodríguez de la Cruz, 2008).

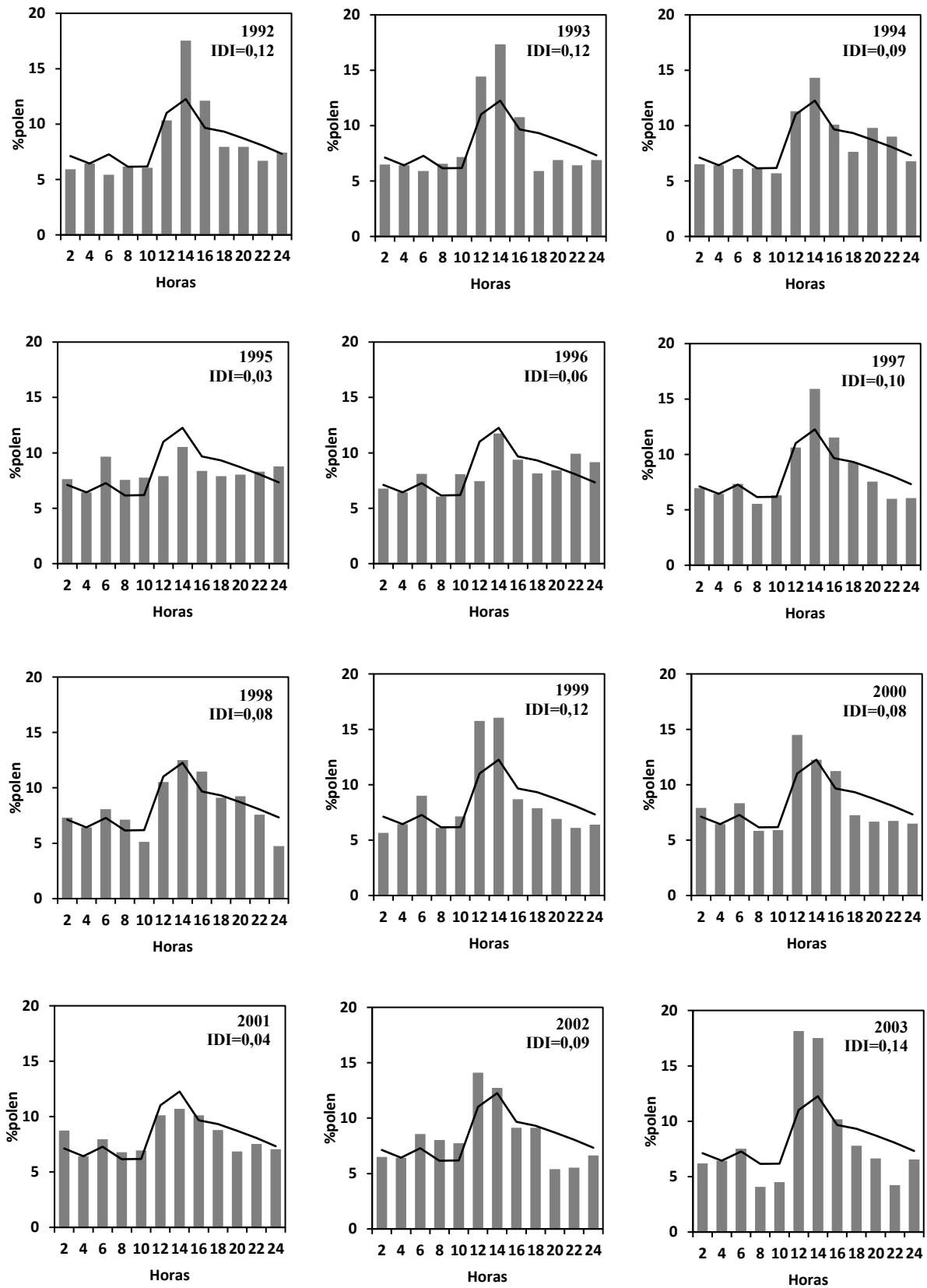


Figura 4.92. Variación intradiaria del polen de *Parietaria* para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015).

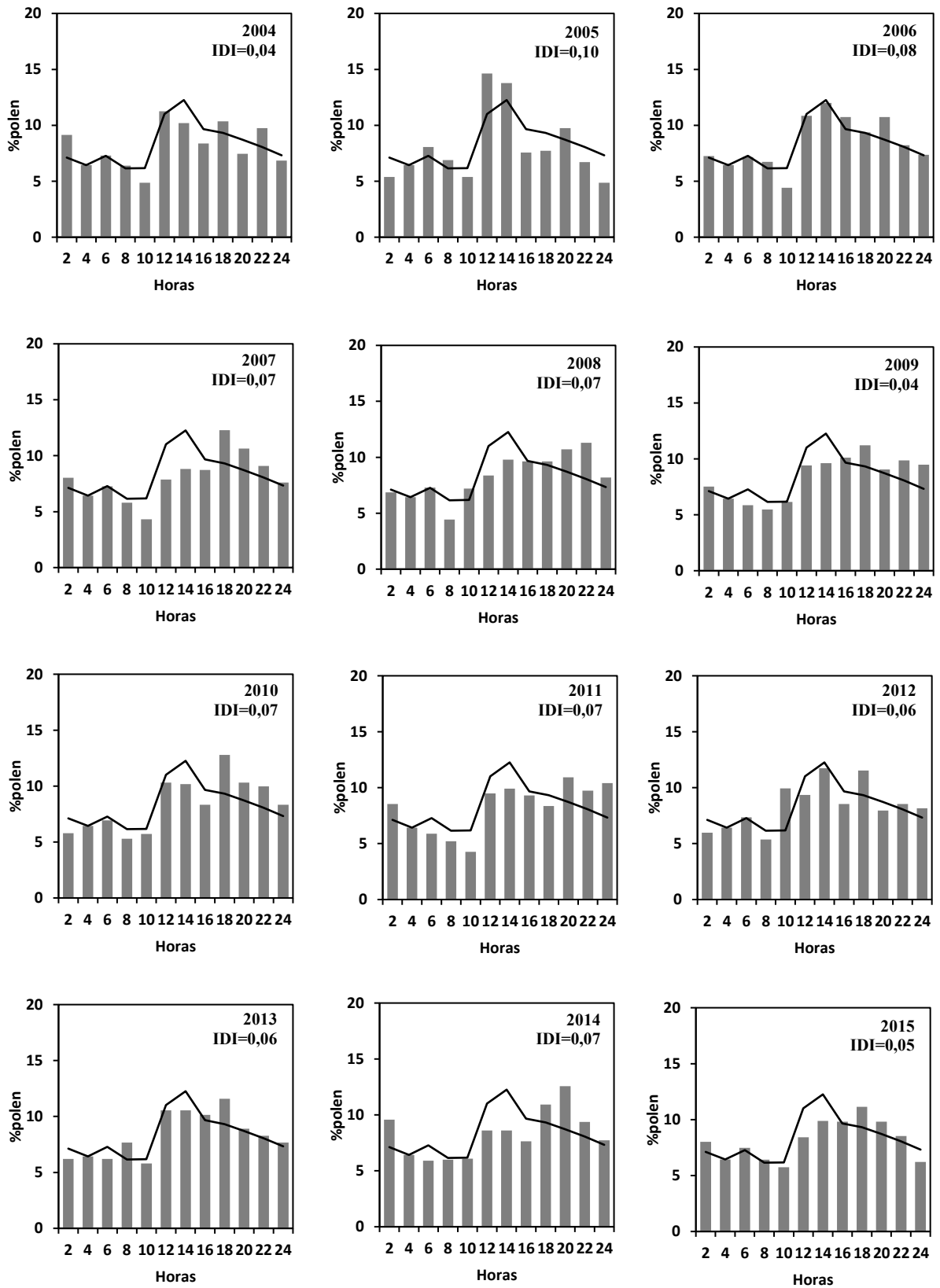


Figura 4.92. Continuación.

Los índices polínicos anuales de *Parietaria* no presentaron apenas una tendencia que caracterizara su evolución en la atmósfera de Málaga, aunque apareció un muy ligero incremento apenas destacable ya que el valor del coeficiente de determinación fue muy bajo ( $R^2=0,0003$ ). En el caso de *Parietaria*, al igual que en otros herbáceas, las precipitaciones que se producen durante la fase previa al PPP, favorecen el aumento de las concentraciones polínicas en la atmósfera (Trigo *et al.*, 1996; Díaz de la Guardia *et al.*, 1998; Galán *et al.*, 2000; Vega-Maray *et al.*, 2003; García-Mozo *et al.*, 2009; Alba-Sánchez *et al.*, 2010) y determinan, así, la intensidad de la estación polínica. En este mismo sentido, Galán *et al.* (2016) observaron una correlación significativa y positiva entre el IPA de las urticáceas y el índice de NAO (North Atlantic Oscillation) de los meses de invierno (diciembre-febrero) ya que este índice juega un papel importante sobre las fluctuaciones de las precipitaciones en Europa y sobre todo la parte sur del Mediterráneo (Gallego *et al.*, 2005).

En lo que se refiere a la dinámica de periodo de polinación principal de *Parietaria*, se observó una ligera tendencia al retraso del comienzo de la estación (Fig. 4.86). Un comportamiento similar ha sido observado en otras localidades del sur de Europa (Damialis *et al.*, 2007; Tormo-Molina *et al.*, 2010). Esto puede ser consecuencia de la variación de las precipitaciones en nuestra área de estudio, dado el papel importante que juega este parámetro, como se explicó anteriormente. Por otra parte, otros autores pusieron de manifiesto que las urticáceas necesitan un cierto umbral de humedad del suelo para favorecer, en primer lugar, el crecimiento y el desarrollo vegetativo de las plantas, y en segundo lugar, iniciar la floración (García-Mozo *et al.*, 2009, 2010; Recio *et al.*, 2009). De hecho, el comportamiento observado en el inicio de PPP durante los distintos años, parece ser una respuesta inmediata a la disponibilidad del agua en el suelo, pero dependiente también de la reserva hídrica acumulada durante el mes de noviembre. Así, esto podría explicar también el retraso observado en la fecha del pico máximo de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga.

El patrón de las concentraciones máximas del polen de *Parietaria* (día pico) revela una tendencia al aumento durante los años estudiados. Trigo *et al.* (2006) explicó que los picos de este tipo polínico parecen estar determinado por los periodos de lluvias seguidos por un periodo prolongado de insolación. Esto coincide con el comportamiento observado de una tendencia al aumento de las horas de sol en la atmósfera de Málaga, a pesar del patrón poco claro que muestran las precipitaciones en esta localidad.

En cuando al final de la estación, se observó una tendencia al adelanto en Málaga. Esto puede ser debido al estrés hídrico acompañado con el aumento significativo de las temperaturas en los meses de junio y julio (Tabla 4.3). Así, el retraso en el inicio y adelanto del final nos lleva a una tendencia de acortamiento de la estación polínica de *Parietaria* durante el periodo (1991-2015).

El efecto de las variables meteorológicas sobre el comportamiento de la estación polínica de la familia de *Urticaceae* ha sido un tema recurrente en los trabajos de Aerobiología, aunque los resultados han sido bastante contradictorios. En relación con el cambio climático, se presentan resultados opuestos. Spiexsma *et al.* (2003) encontró una tendencia a incrementarse el índice polínico en el noroeste de Europa, mientras que, por el contrario, Clot (2003) no encontró ninguna tendencia en Suiza para este tipo polínico. Con respecto al periodo de polinación, Recio *et al.*

(2009) observaron una tendencia al adelanto del final del PPP de este tipo polínico en un trabajo llevado a cabo en la ciudad de Málaga, como ejemplo de la costa mediterránea, mientras se observó un retraso del final de la estación en la costa atlántica. Así, independientemente de la influencia generalizada del cambio climático sobre este taxón, sobre todo en el régimen de precipitaciones, se debe estudiar la dinámica de los diferentes tipos polínicos a nivel local, teniendo en cuenta la especificidad de cada zona.

En lo que se refiere a las variaciones intradiarias, se observó un patrón medio del periodo 1992-2015 con un pico máximo entre las 12:00-14:00 horas, el cual fue similar al comportamiento descrito por Trigo *et al.* (1996) y por Gálan *et al.* (1991), si bien aparecieron diferencias en la distribución de este tipo de polen a lo largo de las 24 horas del día durante el periodo 2007-2015, con pico situados a las 18 horas. Este hecho puede ser reflejo de la creciente urbanización del área en la que se encuentra ubicado el captador y a disminución del número de ejemplares de estas plantas en el entorno de la estación de muestreo aerobiológico, así como la influencia de los vientos, favoreciendo un transporte a una mayor distancia del polen de *Parietaria*. Sin embargo, esta circunstancia no ha quedado reflejada en la evolución de los índices polínicos anuales.

Durante el periodo completo (1991-2015), los coeficientes de correlación más elevados se alcanzaron con los parámetros indicadores de calor (horas de sol y temperaturas), siendo la temperatura máxima el parámetro cuyo coeficiente de correlación resultó más altamente significativo, tal como puso de manifiesto Trigo *et al.* (1996) en un trabajo anterior llevado a cabo en esta localidad.

Por su parte, las precipitaciones y la humedad relativa, mostraron coeficientes de correlaciones negativos indicando un efecto a disminuir las concentraciones de este tipo polínico, ya que el primero ejerce un efecto de lavado atmosférico y el segundo, limita la flotabilidad en el aire de los granos de polen.

Cabe destacar que, el coeficiente de correlación positivo obtenido con la precipitación durante el post-pico parece tener un efecto positivo sobre los niveles de polen de *Parietaria*. Hay que tener en cuenta que el periodo post-pico comienza a partir de 22 de marzo cuando aún se están produciendo precipitaciones, que pueden influir de manera positiva sobre las concentraciones de polen de este tipo polínico, al reactivar el periodo vegetativo y reproductor de las plantas. Este comportamiento también ha sido descrito por Recio *et al.* (2010), poniendo de manifiesto la importancia de las precipitaciones del mes de abril sobre los niveles de polen de distintos tipos de herbáceas, incluyendo el tipo *Parietaria*.

La dirección de los vientos es un parámetro meteorológico que tiene un efecto directo sobre el tipo polínico *Parietaria*. De hecho, los vientos dominantes en la localidad de Málaga procedentes del segundo y cuarto cuadrante juegan un papel inverso sobre la dinámica del polen, con efecto negativo del primero y positivo del segundo. Por otra parte, se destaca el efecto del viento de tercer cuadrante, procedente del río Guadalhorce, lugar caracterizado por el alto grado de humedad del suelo, donde se favorece el desarrollo de plantas herbáceas, y de hecho, favorece el aumento de los niveles de polen de *Parietaria* en la atmósfera de Málaga.

En lo que se refiere a los modelos de pronóstico obtenidos, aunque los coeficientes de determinación fueron muy bajos, todos ellos fueron significativos (Tabla 4.68). Sin embargo, al



incorporar otras variables, los modelos mejoran notablemente, ya que los valores de  $R^2$ , se incrementaron hasta alcanzar el valor de 0,462 (modelo 4b). Así, los parámetros incluidos fueron la concentración del día anterior ( $Pariet_{t-1}$ ), la D-media, la temperatura máxima, y el viento del tercer cuadrante. Todas ellas entraron a formar parte de la ecuación con signo positivo. Por otra parte, este modelo presentó buenos pronósticos, indicando una buena asociación entre los datos estimados y observados en el año 2016 ya que los coeficientes de correlación de la prueba de *Spearman* fueron significativos. Esto se confirmó con los resultados de la prueba de *Wilcoxon*, ya que no aparecieron diferencias significativas entre los rangos de los datos comparados (observados/esperados). Este nos permite afirmar que se puede aceptar este modelo, ya que se muestra adecuado para predecir las concentraciones medias diarias del polen de *Parietaria* durante el periodo pre-pico (Tabla 4.70).

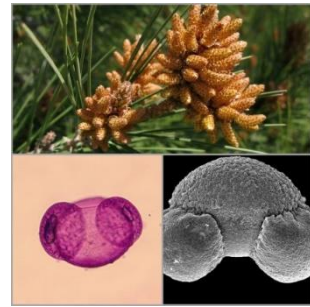
En este presente trabajo, se observó que los días con niveles superiores a de 30 granos de polen/m<sup>3</sup> fueron muy escasos con sólo 13 días en todo el periodo (1992-2015), siendo la categoría 1-15 granos de polen/m<sup>3</sup> lo que alcanza una mayor frecuencia en la atmósfera de Málaga.

El polen de la *Parietaria* es una de las causas más importantes de polinosis en todos los países del Mediterráneo (Bousquet *et al.*, 1984; D'Amato & Spieksma, 1990; Hernández Prieto *et al.*, 1998; Makris *et al.*, 2010; Fotiou *et al.*, 2011). La prevalencia de sensibilización difiere de un lugar a otro. Así, se ha descrito que el 25% de la población del sur de Francia mostraron síntomas de polinosis mientras en el sur de Italia este porcentaje fue variando entre el 40% y el 80% en función de la zona, siendo el más alto el del 82% en Nápoles (D'Amato Lobefalo, 1989) en comparación con Roma donde el 30% de las personas presentaron alergias al polen de *Parietaria* (Grilli *et al.*, 2002).

En España, la sensibilización al polen de *Parietaria* se encuentra centralizada en la costa mediterránea y en poblaciones con un alto porcentaje de humedad. Así, el porcentaje de sensibilización es de 29% en Coruña y Jaén (Ferreiro *et al.*, 1998; Ruiz, 2001), del 25% en Almería (Sabariego, 2003), y del 19% en Madrid y Santander (Subiza *et al.*, 1998), mientras que la prevalencia más elevada se localiza en Málaga, con un porcentaje de pruebas cutáneas positivas del 30%, destacando que un tercio de los pacientes con sensibilidad al polen de *Parietaria* en Málaga resultaron monosenbibles (Torrecillas *et al.*, 1998). Sin embargo, en Córdoba se encontró que sólo un 2,5% de los pacientes con polinosis eran sensibles a este tipo de polen (Domínguez-Vilches *et al.*, 1993).

#### 4.3.7. Tipo polínico *Pinus*

El género *Pinus* incluye numerosas especies autóctonas que forman parte de la vegetación natural de la Península Ibérica, que también se utilizan como árboles ornamentales en parques, además de para la repoblación forestal, sin olvidar la gran importancia económica que tienen estos árboles para la industria de la madera. Las especies más frecuentes en la provincia cuyo polen presentan un mismo tipo son *Pinus pinea* L., *P. halepensis* Miller, *P. pinaster* Aiton y *P. canariensis* Sweet ex Sprengel.



##### 4.3.7.1. Descripción botánica

Género de árboles perinniofloros, resinosos y de gran talla. Presentan hojas en forma de aguja (acículas) insertas en pequeños grupos sobre las ramillas cortas (braquiblastos). Estróbilos unisexuales; los masculinos formados por escamas portadas de sacos polínicos y los femeninos en forma de conos constituidos por escamas seminíferas y brácteas tectrices, leñosos en la madurez. Semillas aladas, a veces comestibles (piñones).

##### 4.3.7.2. Época de floración/polinización

De febrero a marzo para las especies *P. halepensis* Miller y *P. canariensis* Sweet ex Sprengel, mientras que para *P. pinea* L., *P. pinaster* Aiton, es de abril a mayo. La polinización es de tipo anemófila.

##### 4.3.7.3. Morfología polínica

Polen monoanaleptomado, heteropolar, de simetría bilateral, con dos vesículas aeríferas laterales. Corpus oblatu u oblatu esferoidal, elíptico o circular en vista polar. Presenta un leptoma situado en el polo distal. Superficie granulada-verrugosa. Exina de 3-4  $\mu\text{m}$  de grosor en el polo proximal y de menos de 1  $\mu\text{m}$  en el polo distal.

##### 4.3.7.4. Variación interanual

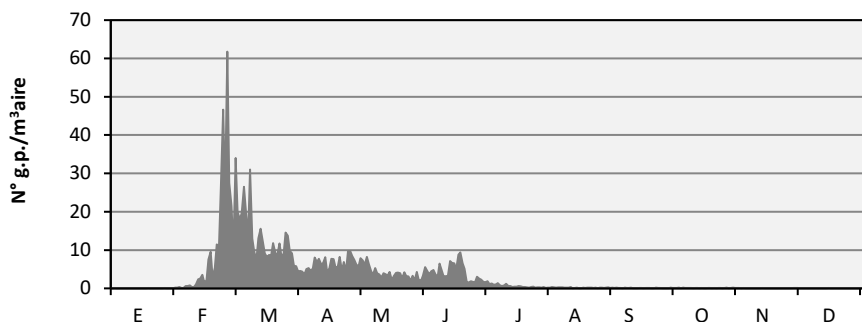
El tipo polínico *Pinus* contribuyó con un 3,40% al espectro polínico total durante el periodo estudiado, ocupando la octava posición en orden de abundancia en la atmósfera de Málaga. Los índices polínicos anuales fueron muy variables, ya que oscilaron entre 386 (año 2006) y 4.250 (año 1997), con un promedio de 1.150. Si bien que hay que señalar que en algunos años el polen de *Pinus* llegó a alcanzar porcentajes altos, de 6,47% (año 1997), 6,26% (1998), 4,88% (1995), 4,59% (2014), con respecto al polen total anual (Tabla 4.71).

| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 637   | 2,88    | 12          |
| 1993  | 1.284 | 4,22    | 10          |
| 1994  | 620   | 2,28    | 7           |
| 1995  | 999   | 4,88    | 11          |
| 1996  | 1.003 | 2,35    | 11          |
| 1997  | 4.250 | 6,47    | 8           |
| 1998  | 2.144 | 6,26    | 9           |
| 1999  | 1.755 | 3,84    | 10          |
| 2000  | 733   | 2,25    | 8           |
| 2001  | 1.005 | 2,29    | 8           |
| 2002  | 833   | 2,67    | 8           |
| 2003  | 756   | 1,91    | 9           |
| 2004  | 542   | 2,15    | 24          |
| 2005  | 1.209 | 2,82    | 13          |
| 2006  | 386   | 1,43    | 23          |
| 2007  | 928   | 2,00    | 18          |
| 2008  | 1.061 | 3,31    | 9           |
| 2009  | 719   | 1,79    | 9           |
| 2010  | 980   | 2,41    | 10          |
| 2011  | 1.251 | 4,50    | 9           |
| 2012  | 1.252 | 4,25    | 10          |
| 2013  | 818   | 1,97    | 8           |
| 2014  | 1.878 | 4,59    | 9           |
| 2015  | 560   | 1,85    | 10          |
| Media | 1.150 | 3,40    | 11          |

**Tabla 4.71.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

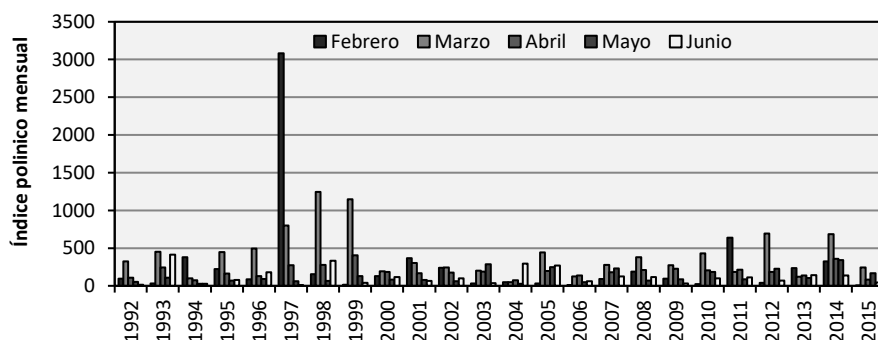
#### 4.3.7.5. Variación estacional

La curva promedio de la distribución de las concentraciones medias diarias del polen de *Pinus* a lo largo de los 24 años muestra que éste aparece en la atmósfera durante un largo periodo de tiempo, que transcurre desde febrero hasta julio (Fig. 4.93). Así, los niveles de polen comienzan a aumentar desde principios de febrero alcanzando un pico máximo a finales de este mes con una media de 62 granos de polen/m<sup>3</sup>. A partir de este momento, los niveles disminuyen pero los granos de polen se mantienen presentes en la atmósfera en concentraciones mínimas durante un periodo bastante largo (4 meses). Los niveles máximos semanales del polen de *Pinus* durante los distintos años estudiados se registran entre la semana 7 (año 1994) y la semana 24 (año 2004), pero más frecuentemente entre las semanas 8 y 10 (Tabla 4.71).



**Figura 4.93.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Generalmente, los mayores índices polínicos se obtienen en el mes de marzo, con un valor promedio de 410, fluctuando entre 49 y 1.246. Sin embargo, en los años 1994, 1997, 2001 y 2011, los índices polínicos mensuales más elevados se obtuvieron en febrero y oscilaron entre un mínimo de 368 y máximo de 3.082. Cabe destacar que en el año 2004, el mes de junio alcanzó el mayor índice polínico mensual del tipo polínico *Pinus*, registrando un valor total de 294 (Fig. 4.94).



**Figura 4.94.** Índices polínicos mensuales obtenidos en febrero, marzo, abril, mayo y junio para el tipo polínico *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Durante los distintos años, las cruvas de la distribución de las concentraciones medias diarias del polen de *Pinus* siguieron un comportamiento bastante similar con un periodo de polinación bien definido que comienza en el mes de febrero y termina a finales de junio, y en la que se observó una sucesión de picos, de cierta revalencia a lo largo de la estación. Los niveles diarios máximos diarios (día pico) se detectan frecuentemente en los meses febrero o marzo, aunque a menudo se observa que aparece un importante aumento de los niveles de polen en el mes de junio. El pico máximo histórico obtenido en el mes de febrero fue de 1.028 g.p./m<sup>3</sup> mientras el registrado en el mes de marzo fue de 176 g.p./m<sup>3</sup>. Cabe destacar que el día pico se alcanzó durante el mes de junio en el año 2004 (41 g.p./m<sup>3</sup>), así como en 2006 (27 g.p./m<sup>3</sup>) (Fig. 4.95).

### 4.3.7.6. Periodo de polinación principal

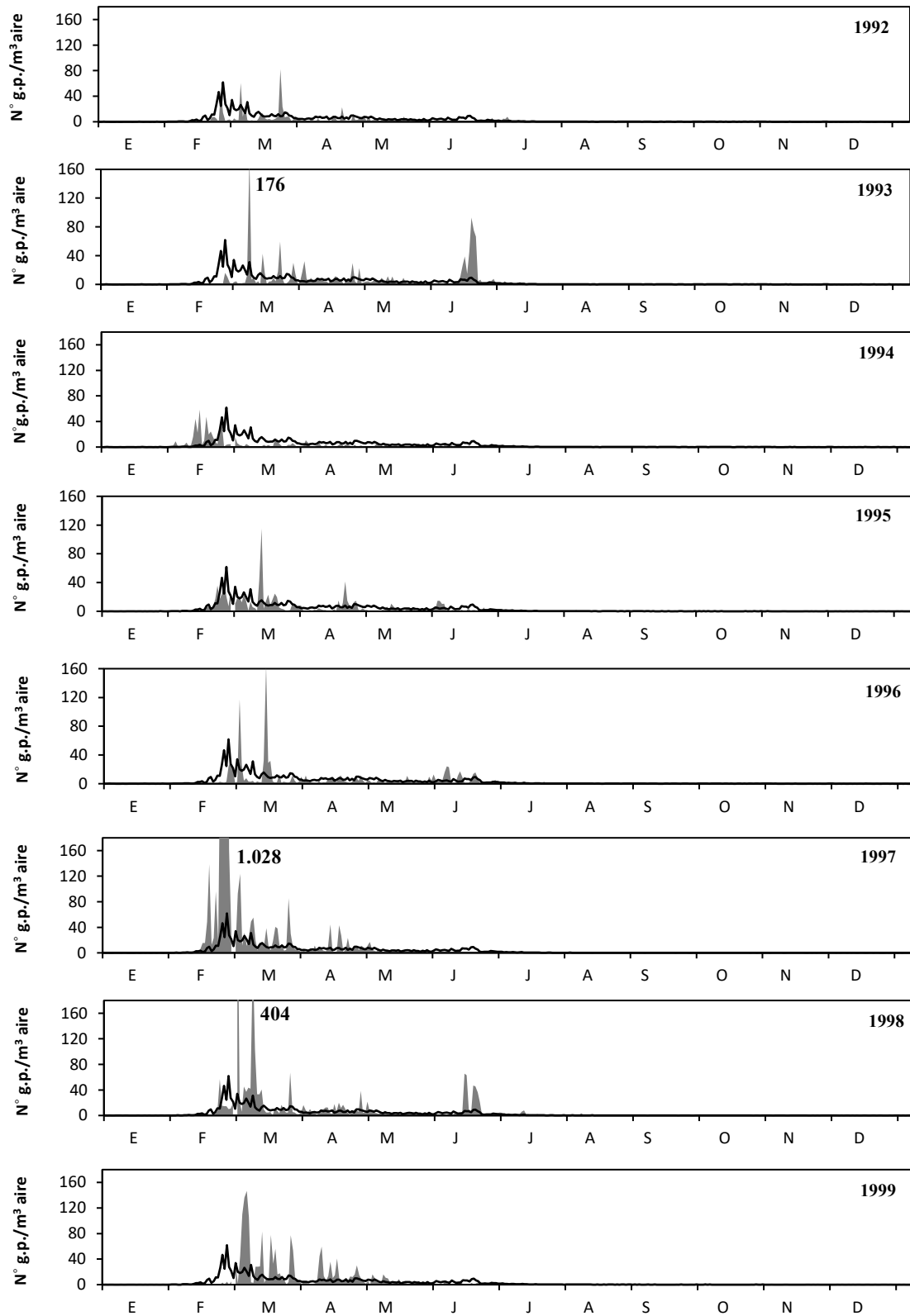
El periodo polinación principal del polen de *Pinus* fue muy prolongado con una duración media de 134 días. Así, la duración del PPP varió entre un mínimo de 97 días (año 1997) y un máximo de 197 días (año 2013). Los índices polínicos obtenidos durante el PPP varían entre 368 y 4.103, con un IP promedio de 1.107. La fecha promedio de inicio del PPP fue el día 21 de febrero mientras el promedio del final de la estación fue el día 03 de julio pero, si nos fijamos en cada año por separado, observamos que existen variaciones en el comienzo de la estación polínica del *Pinus*, y que la fecha de comienzo más temprana fue en el año 1994 (día el 04 de febrero) mientras la más tardía fue en el año 2015 (día el 03 de marzo).

En lo que se refiere al final del PPP, se observaron también amplias oscilaciones, ya que la fecha de final más temprana fue el 10 de junio (año 1999) mientras la más tardía se registró el día 01 de septiembre (año 2008).

La fecha media del día pico de polen de *Pinus* fue el 17 de marzo, aunque esta fecha varió de un año a otro, ya que en algunos años fueron muy próxima a la fecha del inicio de PPP y, en otros, ocurre lo contrario, como en el año 2004 y 2006. Asimismo, se observa que también hay una gran variación en cuanto a la intensidad de los picos máximos del polen de *Pinus* durante los distintos años.

La concentración media diaria del día pico máximo ha fluctuado entre un mínimo de 27 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2006) y un máximo de 1.028 (año 1997), presentando 76 granos de polen/m<sup>3</sup> como valor promedio. Por lo general, los picos más elevados se obtuvieron en aquellas fechas que fueron próximas al inicio de PPP (años 1997, 1998, 1999).

Por otra parte, la duración del periodo pre-pico del polen de *Pinus* fue corta, con un promedio de 24 días y un índice de producción polínica media de 251, oscilando entre 15 y 1.819. Por el contrario, la duración del periodo post-pico ha resultado ser relativamente larga, con una media de 108 días. De hecho, se observa que la duración mínima ha sido de 45 días (año 2006) mientras la máxima fue 185 días (año 2008). Los índices polínicos fueron más altos durante este periodo, con un mínimo de 51 (año 2006), un máximo de 2.284 (año 1997) y un promedio de 856 (Tabla 4.72).



**Figura 4.95.** Concentraciones medias diarias de polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

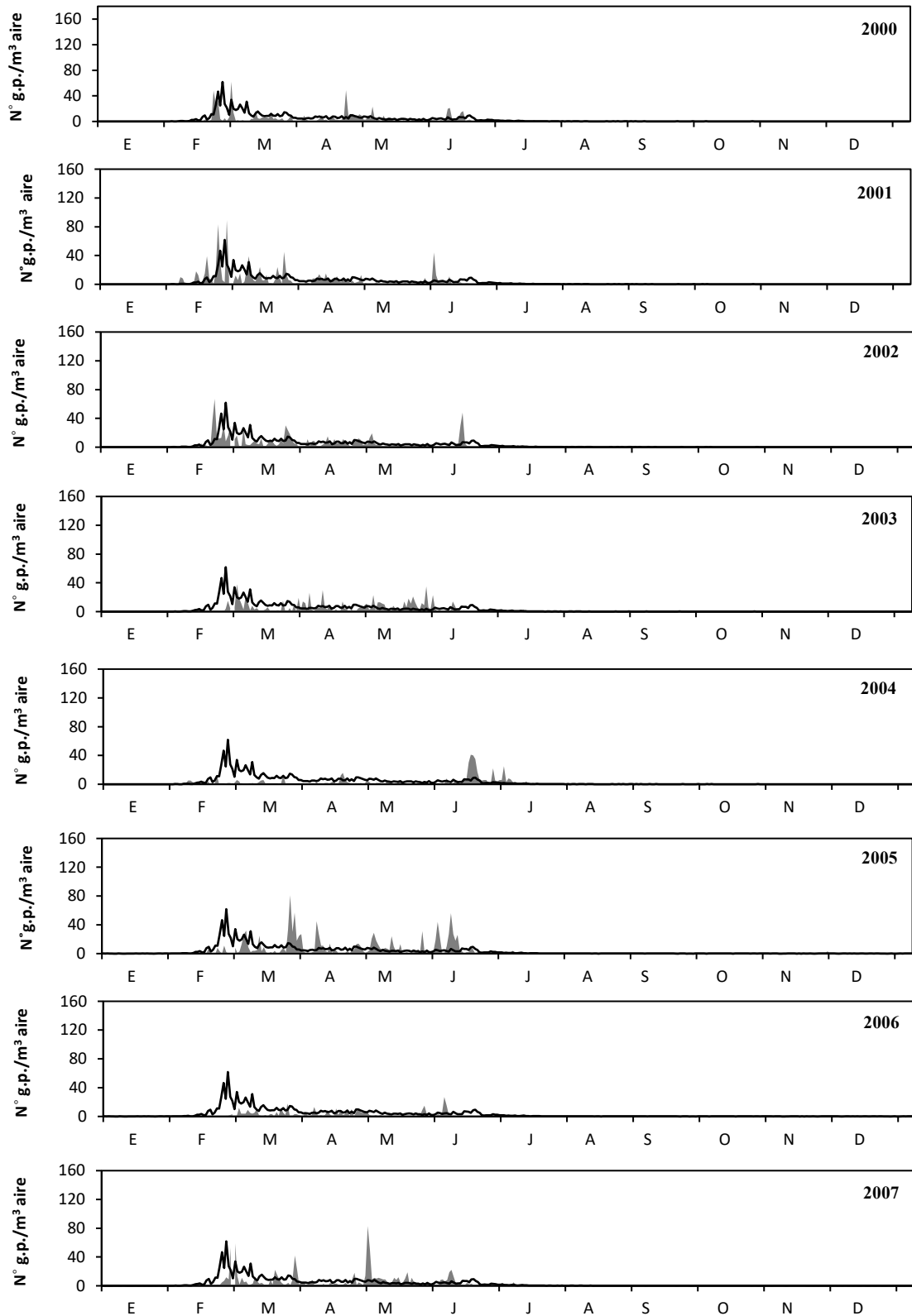


Figura. 4.95. Continuación.

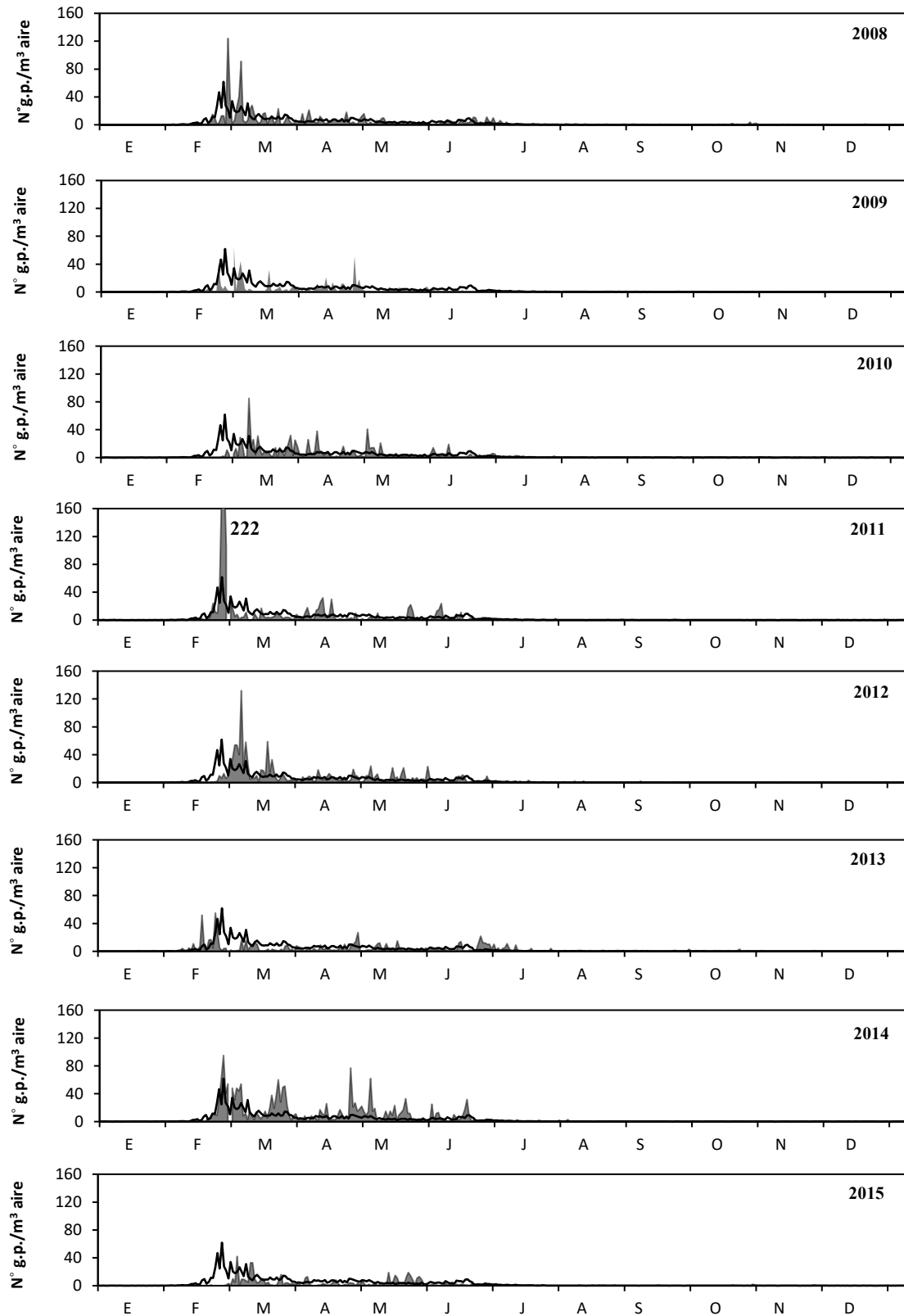


Figura 4.95. Continuación.



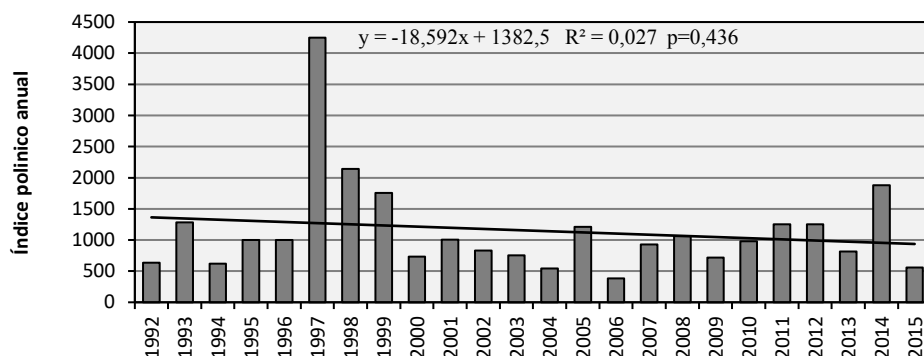
| Año       | PPP (95%)                 |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|---------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>(Inicio-Final) | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992      | 21-02 (52)/11-07 (193)    | 142      | 613           | 23-03 (83)      | 82                                     | 31       | 268           | 111       | 345           |
| 1993      | 28-02 (59)/02-07 (184)    | 126      | 1.225         | 08-03 (68)      | 176                                    | 9        | 27            | 117       | 1.198         |
| 1994      | 04-02 (35)/25-06 (177)    | 142      | 592           | 14-02 (45)      | 59                                     | 10       | 100           | 132       | 492           |
| 1995      | 19-02 (50)/22-06 (174)    | 125      | 955           | 13-03 (73)      | 115                                    | 64       | 370           | 61        | 585           |
| 1996      | 26-02 (57)/26-06 (178)    | 122      | 970           | 14-03 (74)      | 163                                    | 18       | 284           | 64        | 686           |
| 1997      | 17-02 (48)/29-04 (120)    | 73       | 4.103         | 26-02 (57)      | 1.028                                  | 9        | 1.819         | 63        | 2.284         |
| 1998      | 21-02 (52)/08-07 (190)    | 139      | 2.084         | 01-03 (61)      | 404                                    | 9        | 148           | 130       | 1.936         |
| 1999      | 01-03 (61)/10-06 (162)    | 102      | 1.695         | 06-03 (66)      | 147                                    | 5        | 325           | 97        | 1.370         |
| 2000      | 21-02 (52)/02-07 (184)    | 133      | 704           | 01-03 (61)      | 62                                     | 9        | 126           | 124       | 578           |
| 2001      | 12-02 (43)/27-06 (179)    | 137      | 958           | 27-02 (58)      | 89                                     | 15       | 249           | 122       | 709           |
| 2002      | 17-02 (47)/15-06 (167)    | 121      | 805           | 21-02 (52)      | 67                                     | 5        | 41            | 116       | 764           |
| 2003      | 26-02 (57)/13-06 (165)    | 109      | 728           | 02-03 (62)      | 38                                     | 4        | 30            | 105       | 698           |
| 2004      | 08-02 (39)/16-08 (228)    | 190      | 521           | 15-06 (167)     | 41                                     | 128      | 262           | 62        | 259           |
| 2005      | 25-02 (56)/26-06 (178)    | 123      | 1.160         | 26-03 (86)      | 81                                     | 30       | 216           | 93        | 944           |
| 2006      | 01-03 (61)/17-07 (199)    | 139      | 368           | 03-06 (155)     | 27                                     | 94       | 316           | 45        | 51            |
| 2007      | 25-02 (56)/05-07 (187)    | 132      | 899           | 30-04 (121)     | 83                                     | 65       | 456           | 67        | 443           |
| 2008      | 21-02 (52)/01-09 (245)    | 194      | 1.026         | 28-02 (59)      | 124                                    | 9        | 57            | 185       | 969           |
| 2009      | 18-02 (49)/17-06 (169)    | 121      | 689           | 01-03 (61)      | 65                                     | 12       | 83            | 109       | 606           |
| 2010      | 28-02 (59)/25-07 (207)    | 149      | 940           | 08-03 (68)      | 85                                     | 8        | 74            | 141       | 866           |
| 2011      | 21-02 (52)/19-06 (171)    | 120      | 1.209         | 27-02 (58)      | 222                                    | 8        | 302           | 112       | 907           |
| 2012      | 26-02 (57)/26-06 (178)    | 122      | 1.206         | 06-03 (66)      | 132                                    | 9        | 241           | 113       | 965           |
| 2013      | 12-02 (43)/26-08 (239)    | 197      | 781           | 23-02 (54)      | 55                                     | 11       | 121           | 186       | 660           |
| 2014      | 23-02 (54)/17-06 (169)    | 116      | 1.798         | 26-02 (57)      | 95                                     | 3        | 104           | 113       | 1.694         |
| 2015      | 03-03 (63)/16-07 (198)    | 136      | 540           | 05-03 (65)      | 42                                     | 2        | 15            | 134       | 525           |
| 1992-2015 | 21-02 (52)/03-07 (185)    | 134      | 1.107         | 17-03 (76)      | 145                                    | 24       | 251           | 108       | 856           |

Tabla 4.72. Indicadores del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).

#### 4.3.7.7. Estudio de tendencias

##### ▪ Índice polínico anual

El gráfico interanual muestra que durante los 24 años de estudio se ha registrado un descenso no significativo de los índices polínicos del *Pinus* ( $R^2=0,027$ ,  $p=0,436$ ). Esto coincide también con los resultados del análisis realizado mediante la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall*, observándose una ausencia de tendencia significativa de la serie ( $Z=-0,022$ ;  $p=0,903$ ). Por otra parte, teniendo cuenta el parámetro pendiente de *Sen*, se observa que la evolución de los IPAs de *Pinus* presenta un valor negativo de  $-1,67$  (Tabla 4.73, Fig. 4.96).



**Figura 4.96.** Evolución del índice polínico anual del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| <i>Serie</i> | <i>Inicio</i> | <i>Final</i> | <i>n</i> | <i>Mann-Kendall Test</i> |             | <i>Pendiente de Sen</i> |
|--------------|---------------|--------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------|
|              |               |              |          | <i>Z</i>                 | <i>Sig.</i> | <i>Q</i>                |
| IPA          | 1992          | 2015         | 24       | -0,022                   | 0,903       | -1,67                   |

**Tabla 4.73.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

##### ▪ Niveles del polen de *Pinus*

Para estudiar la evolución de las concentraciones de polen de *Pinus*, se ha considerado la categoría del grupo 4 establecido por la REA (Galán et al., 2007). Se observa, que el nº de días con niveles nulos ( $<1$  granos de polen/ $m^3$ ) se mantuvo estable, con un porcentaje de variación bajo, del 9%, durante todo el periodo estudiado. Dichos niveles varían entre 199 días (año 1998) y 272 días (año 1992), con un promedio de 238 días ( $\pm 21$ ). Por otra parte, se observó que el promedio de los días con niveles bajos ( $1-50$  granos de polen/ $m^3$ ) ha sido de 125 ( $\pm 17$ ) durante el conjunto de los años, fluctuando entre un mínimo de 92 días (año 1992) y un máximo de 165 días (año 2008). Por lo que se refiere a los días con niveles moderados y altos, se observa que hubo muy pocos días tanto con concentraciones comprendidas entre  $51-200$  g.p./ $m^3$  como con aquellas  $>200$  g.p./ $m^3$  (Tabla 4.74).

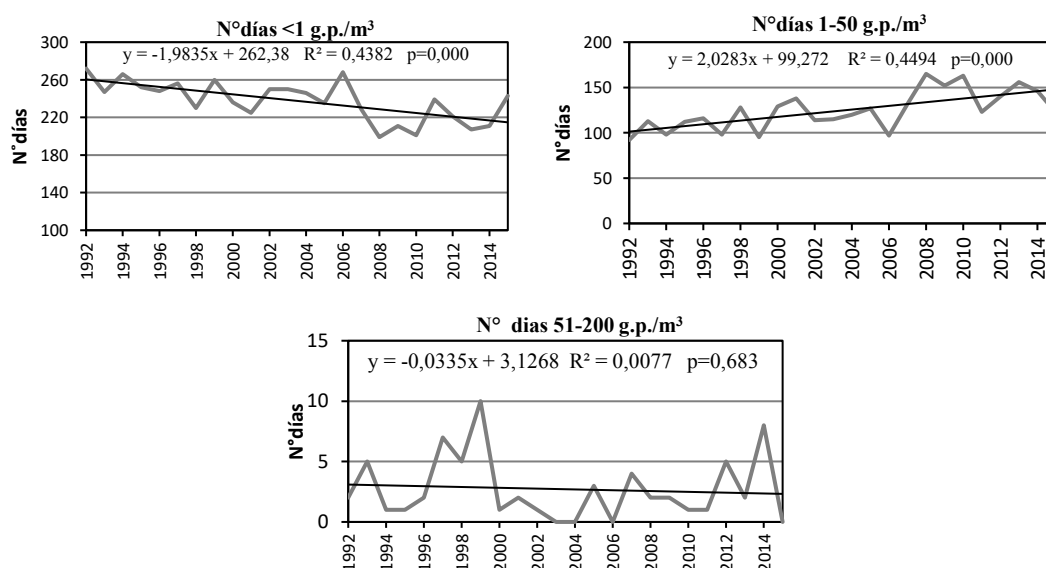
| Niveles                            | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|------------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | 199    | 272    | 238   | 21           | 9      |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 92     | 165    | 125   | 21           | 17     |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 10     | 3     | 3            | 99     |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 4      | 0     | 1            | 289    |

**Tabla 4.74.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

La prueba de *Mann-Kendall* muestra que hay resultados significativos indicando, por un parte, una tendencia a la disminución de los días sin polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga con una pendiente igual a -2,02 y, por otra parte, se observó un aumento de los días con concentraciones comprendidas entre 1 y 50 granos de polen/m<sup>3</sup>, con un valor de la pendiente de *Sen* de 2,20 (Tabla 4.75). Cabe destacar que, aunque se han obtenido tendencias negativas que revelan una disminución de los días con niveles moderados y altos del polen *Pinus*, en ambos casos la pendiente de *Sen* obtuvo un valor cero (Q=0). Por último, hay que señalar que no se han realizado la grafica indicando el comportamiento de los días con niveles altos debido a la escasez de los datos obtenidos (Fig. 4.97).

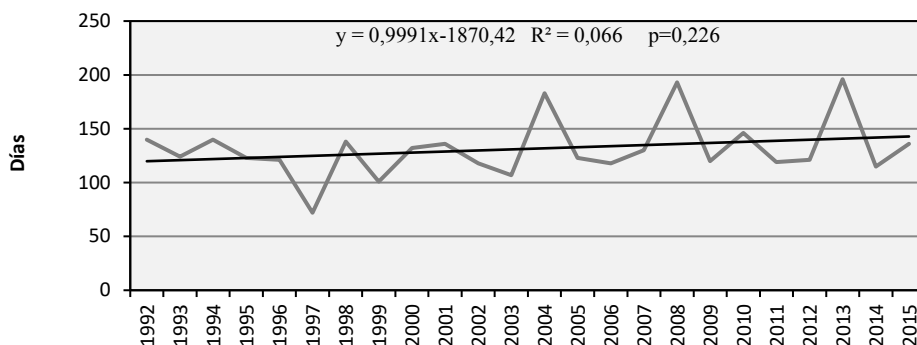
| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de <i>Sen</i> |
|------------------------------------|-------------------|-------|-------------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                       |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,480            | 0,001 | -2,02                   |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,497             | 0,001 | 2,20                    |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | -0,082            | 0,612 | 0                       |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | -0,082            | 0,663 | 0                       |

**Tabla 4.75.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Pinus*, en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



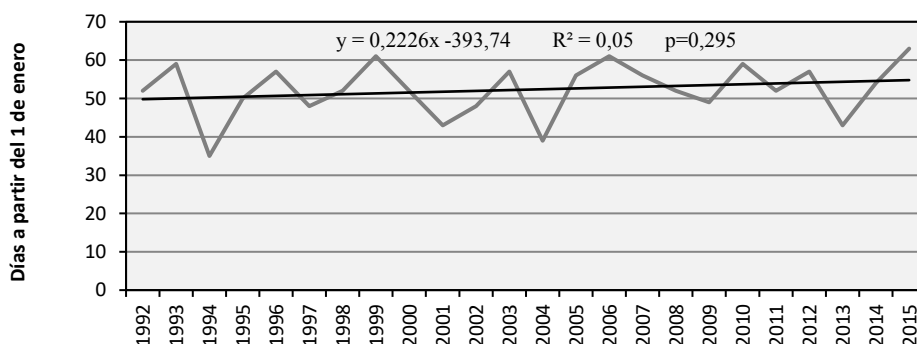
**Figura 4.97.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Pinus* en Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Durante el periodo 1992- 2015, se observa que la **duración del periodo de polinación principal** del polen de *Pinus* varía entre los 73 y los 197 días, con un promedio de 134 días ( $\pm 27$ ), además con porcentaje de variación relativamente elevado (20%) durante el periodo estudiado. Así que, la duración de la estación polínica del *Pinus* ha presentado una evolución positiva y pero estadísticamente no significativa explicando una ligera tendencia al alargamiento según los resultados del test *Mann-Kendall* ( $Z=0,018$ ,  $p=0,921$ ) (Fig. 4.98). La tendencia observada viene explicada por la pendiente de *Sen* con un valor igual a 0,05 (Tabla 4.76).



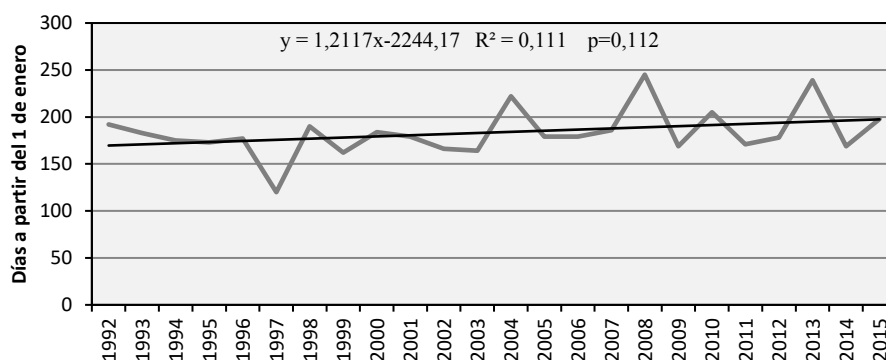
**Figura 4.98.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

La fecha media de **inicio** fue el 21 de febrero ( $52 \pm 7$ ), oscilando entre el día 4 de febrero (35) y el día 3 de marzo (63), siendo el porcentaje de variación del 13% durante el periodo estudiado. El comportamiento del inicio de la estación polínica de *Pinus* indica una tendencia positiva pero no significativa ( $Z=0,150$ ,  $p=0,330$ ), lo cual revela una ligera tendencia al retraso del comienzo de la estación polínica de este tipo polínico. La prueba de estimación de la pendiente de *Sen* revela un valor de signo positiva igual a 0,154 (Fig. 4.99, Tabla 4.76).



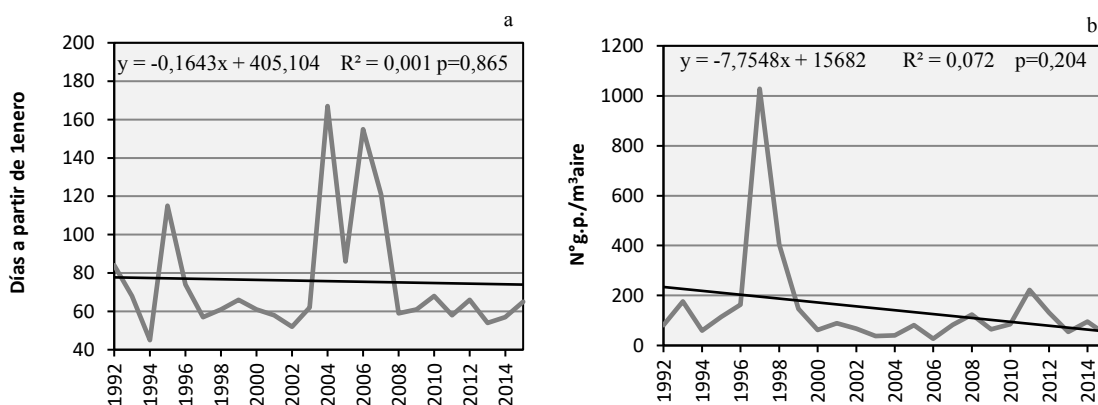
**Figura 4.99.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En cuando a la fecha del **final de la estación polínica** de *Pinus*, se observó que ésta osciló entre el día 29 de abril (120) y el día 1 de septiembre (245) por lo que el día promedio fue el 03-07 ( $185 \pm 26$ ). Por otra parte, la variación del final de PPP fue baja con un porcentaje de 14%. De hecho, el comportamiento del final del PPP se caracterizó por una tendencia positiva, pero estadísticamente no significativa revelando una ligera tendencia al retraso del final de la estación polínica del *Pinus* ( $Z=0,131$ ,  $p=0,385$ ). La dinámica del final de PPP tuvo un valor de pendiente de *Sen* igual a 0,46. (Fig. 4.100, Tabla 4.76).



**Figura 4.100.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

La **fecha del día pico** muestra que éste presenta una fecha media en el día 17 de marzo ( $75 \pm 31$ ) presentándose un valor de coeficiente de variación del 40% de durante el conjunto de los años. El estudio de la dinámica del día pico muestra una ligera tendencia negativa pero no significativa ( $Z=-0,106$ ,  $p=0,486$ ) al adelanto en esta fecha a lo largo de los años estudiados (Tabla 4.76). Por otra parte, se observa la misma tendencia negativa (a la disminución) en lo que se refiere al **valor pico**, aunque tampoco resultó significativa. En este caso, se obtuvo un porcentaje del coeficiente de variación muy alto, de 200% (Fig. 4.101).



**Figura 4.101.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del polen de *Pinus* (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | 0,150             | 0,330 | 0,15             |
| Final PPP    | 0,131             | 0,385 | 0,46             |
| Duración PPP | 0,018             | 0,921 | 0,05             |
| Día pico     | -0,106            | 0,486 | -0,27            |
| Valor pico   | -0,167            | 0,268 | -2,5             |

**Tabla 4.76.** Resumen de los resultados del test de *Mann-Kendall* y de la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.7.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

Cuando tomamos los valores del PPP de todo el periodo estudiado, en conjunto, observamos que casi todos los coeficientes de correlación significativos obtenidos entre las concentraciones de polen de *Pinus* y los parámetros meteorológicos presentan signo negativo, excepto en el caso de los vientos de dirección NO. Así, se obtuvo correlaciones significativas y negativas con las temperaturas (máxima, media, mínima), la precipitación, la humedad relativa y las horas de sol. Al igual que con el % de calma y, el viento del segundo y tercer cuadrante.

Al considerar el periodo pre-pico por separado, se observó un comportamiento similar al obtenido durante el PPP, ya que sólo se obtuvieron correlaciones significativas y positivas con la velocidad media del viento y el viento de cuarto cuadrante. En cuando al periodo post-pico, se observó la misma pauta en lo que se refiere al comportamiento con las temperaturas (máxima, media, mínima) a la ya comentada anteriormente para otros tipos polínicos.

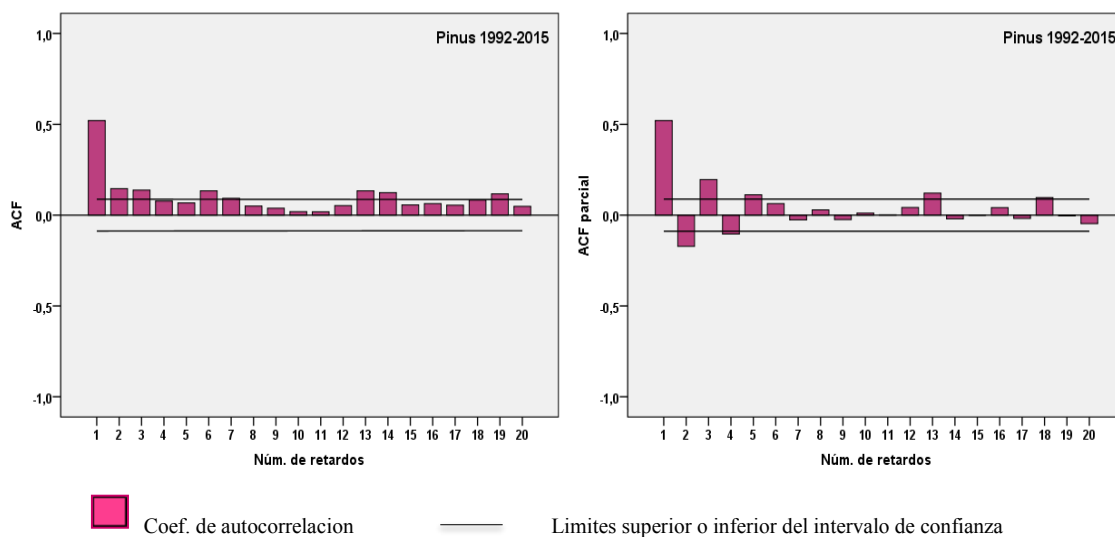
Del mismo modo, apareció un comportamiento similar al del periodo pre-pico para los porcentajes de viento de segundo y cuarto cuadrante, con coeficientes de correlación significativos y negativos en el primer caso, mientras que resultaron positivos en el segundo. También, apareció coeficiente de correlación de signo negativa con el % de calmas (Tabla 4.77).

#### 4.3.7.9. Análisis de autocorrelaciones

Tanto en los análisis de autocorrelaciones simples como parciales se obtuvo un alto grado de asociación con el día anterior. Si bien se obtuvo un mayor número de autocorrelaciones significativas en las simples, con un número de 7 retardos en el que el valor del coeficiente del primer retardo fue el más elevado. En las autocorrelaciones parciales, el número de retardos se redujo en gran medida bajando a 5, de los cuales el coeficiente de retardo número 1 resultó ser más elevado, por lo que se incorporó en los análisis de pronóstico (Fig. 4.102).

|                          | PPP<br>N=3165 | Pre-pico<br>N=514 | Post-pico<br>N=2651 |
|--------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,041**      | -0,142**          | -0,022              |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | -0,158**      | -0,014**          | -0,061**            |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | -0,205**      | -0,161**          | -0,171**            |
| <b>T<sup>a</sup> Min</b> | -0,308**      | -0,261**          | -0,153**            |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,047**      | -0,239**          | 0,018               |
| <b>Horas de Sol</b>      | -0,084**      | 0,051             | -0,008              |
| <b>V. med vt.</b>        | 0,012         | 0,109*            | -0,001              |
| <b>% Vto. 1°C.</b>       | 0,014         | -0,068            | -0,033              |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,093**      | -0,308**          | -0,116**            |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | -0,049**      | -0,135**          | -0,038              |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,142**       | 0,336***          | 0,128**             |
| <b>Calma</b>             | -0,039*       | -0,126**          | -0,116**            |

**Tabla 4.77.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los períodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .



**Figura 4.102.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de las concentraciones medias diarias de polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.3.7.10. Modelos de pronóstico

El estudio de modelos de pronóstico llevado a cabo entre los datos polínicos de *Pinus* durante el periodo pre-pico y las 12 variables meteorológicas presentó resultados poco satisfactorios ya que se obtuvo un modelo único de ecuación de regresión simple que incluye el viento del segundo cuadrante como la mejor variable independiente predictora. Este modelo tuvo un coeficiente de determinación muy bajo, con un valor de 0,014 (Tabla 4.78).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1a     | $Pin = -0,200 V_{to} + 18,352$           | 0,014          | 0,010 |

**Tabla 4.78.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Pinus* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).

Tras incluir otras variables en el proceso de regresión múltiple por pasos, como la D-media y la concentración del día anterior ( $Pin_{t-1}$ ), se observa que se obtienen 4 modelos donde el coeficiente de determinación se incrementó en cada ecuación pero, aún si, los valores de R<sup>2</sup> siguen siendo muy bajos (Tabla 4.79). Así, como se observa que, en el primer paso, introduciendo la D-media, se obtuvo el modelo 1 con lo cual se alcanza un coeficiente de determinación de 0,037. En el segundo paso, se incorporó la concentración del día anterior, con un ligero aumento del coeficiente de determinación que alcanzó un valor de 0,051.

En los siguientes pasos, los valores de los coeficientes de determinación fueron también bajos. Por lo general los modelos obtenidos tanto con los parámetros meteorológicos como con las variables no meteorológicas (D-media y la concentración del día anterior) no consiguieron explicar la variación de las concentraciones polínicas durante el periodo pre-pico, aunque dichos coeficientes resultaron ser significativos.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1b     | $Pin = 0,711 D_{med} + 1,998$  | 0,037          | 0,000 |
| 2b     | $Pin = 0,669 D_{med} + 0,128 Pin_{t-1} + 1,258$                                      | 0,051          | 0,000 |
| 3b     | $Pin = 0,794 D_{med} + 0,131 Pin_{t-1} + 1,531 T^a_{max} - 30,962$                   | 0,064          | 0,000 |
| 4b     | $Pin = 0,719 D_{med} + 0,128 Pin_{t-1} + 2,724 T^a_{max} - 2,029 T^a_{min} - 31,988$ | 0,078          | 0,000 |

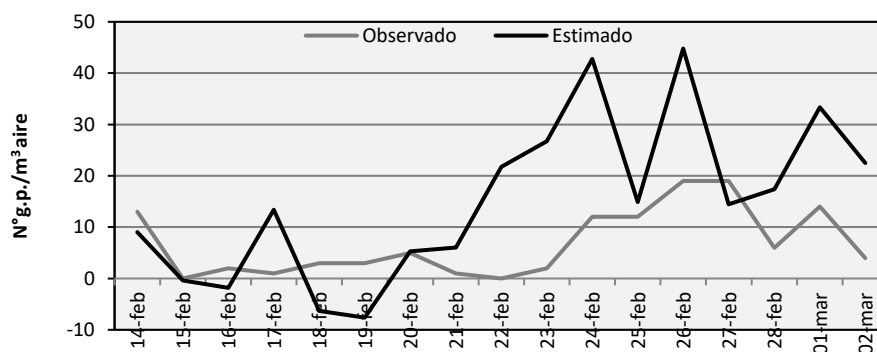
**Tabla 4.79.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Pinus* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1992-2015).

#### ▪ Validación del mejor modelo

En este apartado, se presentan los resultados de la validación del mejor modelo (4b) obtenido en la tabla (4.80), comparando los valores estimados y los esperados para el año 2016 según dicho modelo de pronóstico. Así, se observa gráficamente que no existe una asociación entre los datos estimados y observados (Fig.4.103), esto se coincide con el valor del coeficiente de correlación de *Spearman* no fue significativo ( $p=0,088$ ).



Por otro lado, se realizó un análisis de *Wilcoxon* para comparación de los promedios entre los recuentos de polen de *Pinus* durante el pre-pico del año 2016 (observados) y los esperados. El resultado nos confirma que, existe una diferencia significativa entre ambas series de datos.



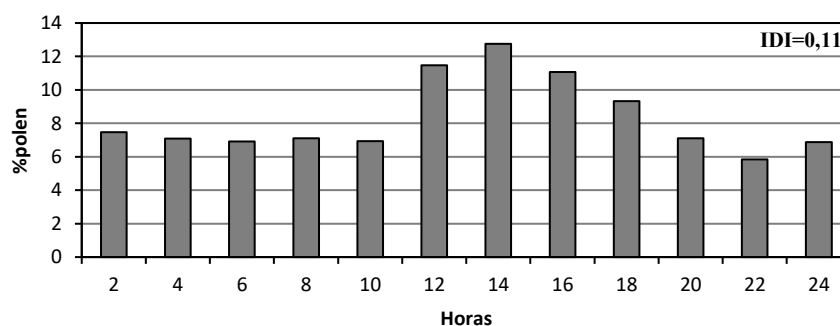
**Figura 4.103.** Concentraciones medias diarias del polen de *Pinus* durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 4b de las ecuaciones de regresión.

|   | Spearman Test |       | Wilcoxon Test |         |        |       |
|---|---------------|-------|---------------|---------|--------|-------|
|   | r             | p     | Rango +       | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 4b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,426         | 0,088 | 10            | 5       | -2,103 | 0,035 |

**Tabla 4.80.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.7.11. Variación intradiaria

El análisis del patrón promedio de la distribución intradiaria del polen de *Pinus* muestra un ligero incremento de las concentraciones a partir de 10:00-12:00 horas, alcanzando el pico máximo en torno de las 14:00 horas (12,7% del polen diario). Posteriormente, los niveles disminuyen en las horas de la tarde, manteniéndose más o menos estable durante la madrugada. El valor medio de IDI que se obtuvo para este tipo polínico fue de 0,11, durante el periodo estudiado (1992-2015) (Fig. 4.104).



**Figura 4.104.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Pinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En los distintos años, se observa un patrón similar al promediado con un comportamiento bastante estable que muestra como las concentraciones máximas se registran en torno de 12:00-14:00 horas, si bien que se observó un comportamiento un poco diferente con picos durante la madrugada y hacia las primeras horas del día (años 1997, 2002, 2003, 2015) o que aparecieron en las horas de la tarde (año 2008). Los valores del IDI calculados para el polen de *Pinus* oscilaron entre 0,23 (1994) y 0,06 (año 2001). El pico de las concentraciones máximas se obtuvo en el año 1994 con un valor igual a 26% del polen diario en torno de las 14:00 horas, mientras el pico más bajo se obtuvo en el año 2004 con un porcentaje igual al 6% del polen diario en esta misma hora (Fig.4.105).

#### 4.3.7.12. Discusión

El polen de la Pinaceae es representado como uno de lo más abundante polen en el aire durante la primavera en muchos países como Portugal (Paiva *et al.*, 1988; Silva, 1989), Italia (Frenguelli *et al.*, 2002), Polonia (Kasprzyk, 1999), Finlandia (Kapyla & Koivikko, 1975), India (Singh, 1983) y China (Li & Yao, 1990). Además, este tipo polínico ha sido descrito como menos frecuentes en otros países incluyendo Australia (Green *et al.*, 2003; Bass & Morgan, 1997), Nueva Zelanda (Fountain & Cornford, 1991), Japón (Hakamada *et al.*, 1979; Igarashi, 1987), Noruega (Johansen & Hafsten, 1988), Suiza (Wuthrich *et al.*, 1983) y los Estados Unidos de América (Dvorin *et al.*, 2001). En España, las concentraciones más elevadas se detectaron en Vigo, donde constituye el 21% del espectro polínico total (Jato *et al.*, 2000). En cambio, en las provincias andaluzas, el polen de *Pinus* representa más del 1% del espectro polínico total en todas las ciudades y se incluye en los calendarios polínicos locales (Martínez-Bracero *et al.*, 2015).

En Málaga, el polen de *Pinus* representó 3,40% del espectro polínico total, con un índice polínico anual medio de 1.150 durante los años estudiados (1992-2015). En otras localidades cercanas a nuestra área de estudio, se observó un comportamiento similar con índices anuales medios en estaciones como 834 en Córdoba, 1005 en Granada y 1284 en Jaén (Velasco-Jiménez *et al.*, 2017). En otros puntos de la provincia malagueña, el polen de *Pinus* no superó el 5% del espectro polínico total tal como en las localidades de Estepona (Toro *et al.*, 1997) y Antequera (Recio *et al.*, 2000). Sin embargo, en la atmósfera de Nerja, este tipo polínico alcanzó niveles muchos mayores con índice polínico anual medio de 15.000 por lo que fue el más abundante, representando el 24% del total anual (Docampo *et al.*, 2007), debido la existencia de un pinar en las proximidades de la estación de muestreo.

En Málaga, las mayores concentraciones del polen de *Pinus* se alcanzaron entre los meses de febrero y marzo, lo que coincide con el periodo de máxima concentración en Nerja (Docampo, 2008), Almería, Cartegena y Jaén (De linares *et al.*, 2017). Sin embargo, este comportamiento difiere en otras ciudades como Córdoba y Granada (Velasco Jiménez *et al.*, 2017).

Si tenemos en cuenta la dinámica de las concentraciones medias diarias de *Pinus*, se observó la sucesión de varios picos de diferentes intensidades que resultan de la sucesión de la floración de diferentes especies (Fig. 4.93).

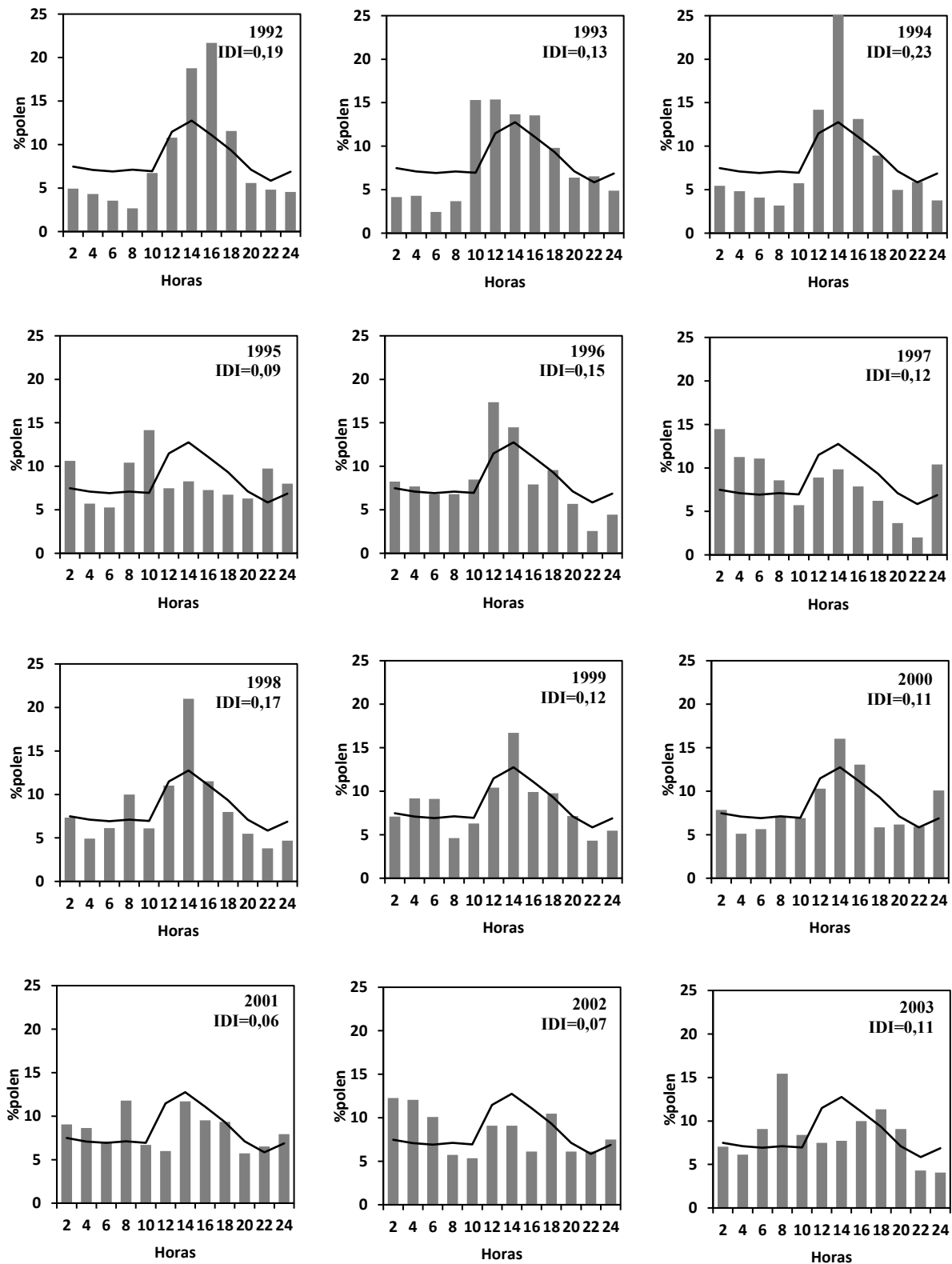


Figura 4.105. Variación intradiaria del polen de *Pinus* para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

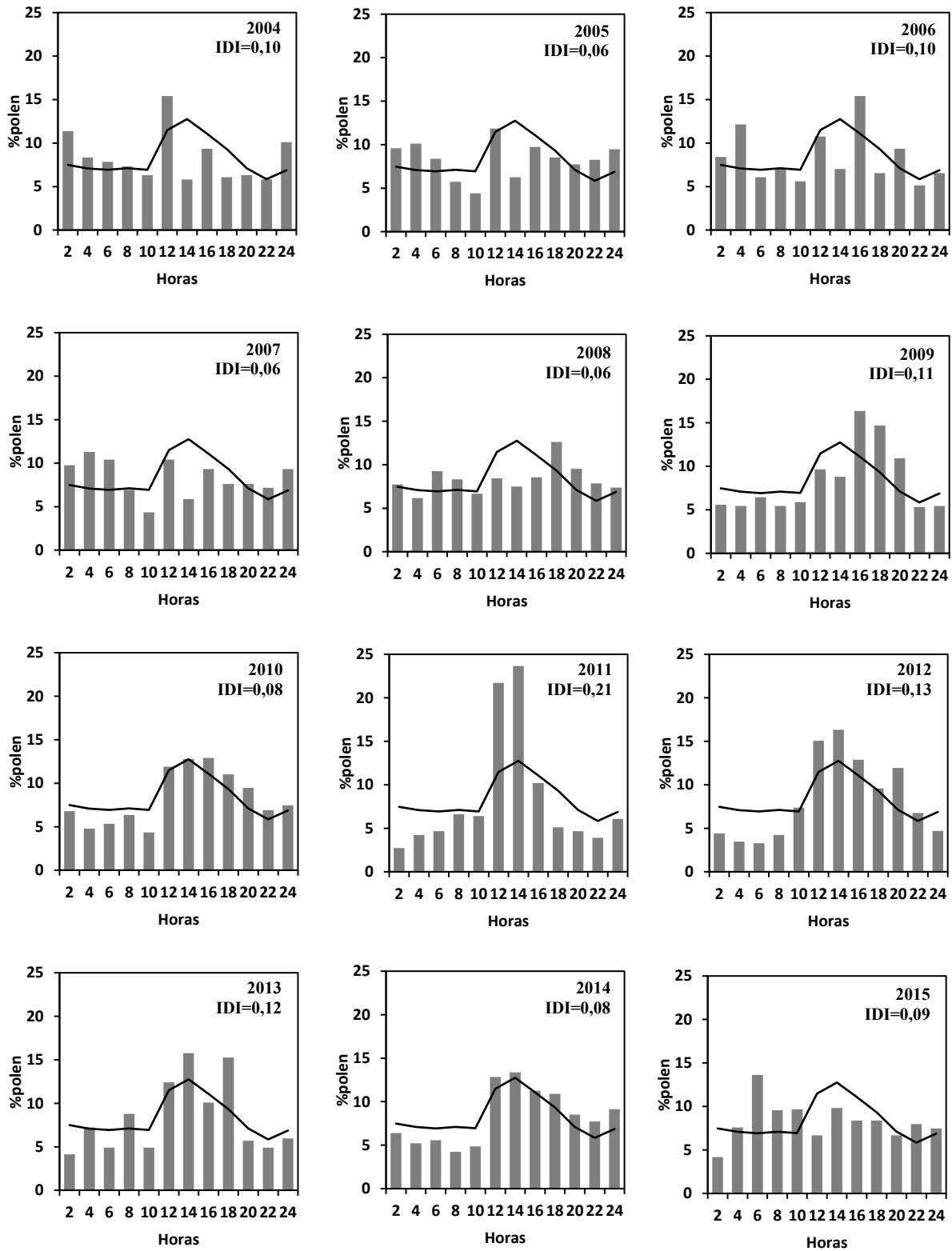


Figura 4.105. Continuación.



En este sentido, Jato *et al.* (2000) sugieren que la duración del periodo de polinación se debe a la participación de varias especies, con floraciones más o menos largas y solapadas. Esto refleja la presencia de distintas especies y a la diferente época de floración de las especies predominantes en cada lugar. De hecho, en Málaga, se observan varios picos, debido a la floración sucesiva de las especies presentes en la zona: *Pinus halepensis* (febrero), *P. pinea* (finales de abril) y *P. pinaster* (junio). No obstante, Mercuri (2015) afirma que la morfología de los granos de polen de *Pinus* presenta un factor importante ya que facilita su persistencia en la atmósfera y las concentraciones detectadas se deben no sólo a la dehiscencia de los sacos polínicos, sino también, debido a que este polen permanece en la atmósfera durante mucho tiempo.

El análisis de la tendencia de los índices polínicos anuales del polen de *Pinus* indica una disminución, no significativa, de los niveles detectados en la atmósfera de Málaga, durante el periodo analizado. Este comportamiento, que describe la evolución de los registros anuales de este tipo polínico, fue similar al referido en otras localidades como Badajoz y Soria, ya que se han observado tendencias decrecientes, si bien significativas (De Linares *et al.*, 2017). En un estudio elaborado por Cariñanos *et al.* (2016), se encontraron correlaciones positivas entre los índices polínicos anuales de *Pinus* y las precipitaciones durante el mes de diciembre. Esto podría explicar la tendencia a la disminución de los IPAs en nuestra área de estudio ya que se ha observado un descenso de los totales mensuales de las precipitaciones en diciembre, lo que podría influir sobre los niveles del polen de *Pinus* en nuestra área de estudio, aunque en otros trabajos se sugiere que las especies mediterráneas están bien adaptadas a los severos periodos de sequía (Sánchez-Gómez *et al.*, 2006; García-Mozo *et al.*, 2011). No obstante, la superficie dedicada a los pinares puede haber contribuido a generar este comportamiento de descenso de los índices polínicos del polen de *Pinus* en ciertas localidades del sur de la Península Ibérica, debido a la disminución del número de especies de *Pinus* en dichas áreas tal como se puso de manifiesto en los trabajos de De Linares-Fernández *et al.* (2011), Attore *et al.* (2011), Sánchez-Salguero *et al.* (2012), aunque no se considera como factor determinante.

A pesar de tener una duración promedio de 134 días, la estación polínica de *Pinus* presentó una tendencia al alargamiento en Málaga, esto resulta que el retraso observado tanto en el inicio como al final del PPP de este tipo polínico, fue mayor en este último (Fig. 4.98). Un comportamiento similar se ha encontrado en un trabajo llevado a cabo por Velasco-Jiménez *et al.* (2017) en donde se caracterizaba la dinámica de este tipo polínico en la atmósfera de varias provincias andaluzas tales como Córdoba y Granada, durante el periodo (1993-2014).

El inicio, la duración y la intensidad de la estación polínica de *Pinus*, como en el caso de otros taxones, varía según con los parámetros climáticos incluyendo la temperatura máxima, la temperatura mínima, la precipitación y la humedad relativa (Frenguelli *et al.*, 1991; Ariano *et al.*, 1994; Jato *et al.*, 2000; Méndez *et al.*, 2000; Clot, 2001; García-Mozo *et al.*, 2010; Alcazar *et al.*, 2011; Mercuri *et al.*, 2013). De hecho, destacando el efecto de las temperaturas, podemos decir que la tendencia observada por este tipo polínico en Málaga, podría estar explicada por la disminución de las cantidades de lluvias registradas durante los meses previos a la floración de *Pinus* (diciembre y enero). Esta conclusión coincide con los resultados observados en el estudio llevado a cabo por De Linares *et al.* (2017), que mostraron una correlación positiva y significativa

entre el índice polínico anual de *Pinus* y las precipitaciones prestaciones, fundamentalmente las del invierno.

En lo que se refiere a las correlaciones con los parámetros meteorológicos, cuando sopla el viento del norte, en Málaga toma la dirección de NO, que es cuando bajan las temperaturas. Este viento trae el polen de Pino, y aumenta las concentraciones, de ahí las correlaciones negativas encontradas. Algo similar sucede con la humedad relativa, que disminuye en Málaga con el viento del NO, que es el que hace que se incrementa las correlaciones de polen.

Las horas de sol aumentan de febrero a junio y por otra parte el polen de *Pinus* aumenta en el pre-pico pero disminuye en el post-pico. Al ser más largo, el post-pico prevalece este comportamiento contrario por lo que los coeficientes de correlación son negativos.

El análisis de la variación intradiaria del polen de pino mostró un patrón promedio con un incremento de los niveles en las horas centrales del día, en torno de las 12:00-14:00 horas. Este comportamiento coincide con lo que ha sido observado en Nerja (Docampo, 2008) y Granada (Alba, 1997). Sin embargo, se ha observado un aumento de los niveles durante la noche o hacia las primeras horas de la mañana (años 1997, 2002, 2003, 2015) y otros que aparecieron en las horas de la tarde (año 2008). En Motril, Nieto-Lugilde (2008) observó un comportamiento similar con un incremento de los niveles de *Pinus* durante la noche 2:00-9:00 horas, esto ha sido explicado por el efecto de los vientos nocturnos (contrabrisa) que traen los granos de polen de los pinares concentrados al norte del captador.

Los modelos de pronóstico de las concentraciones de polen de *Pinus*, tras el utilizar la regresión múltiple por pasos, explicaron una proporción muy baja de la variabilidad que presenta. La incorporación de las variables independientes tanto la D-media como la concentración del día anterior mejorarían los modelos obtenidos al utilizar solamente los parámetros meteorológicos (Tabla 4.79). Así, las variables predictoras que logran explicar un cierto porcentaje de variabilidad de la concentración de polen de *Pinus* son la D-media, la concentración del día anterior, la temperatura máxima y la temperatura mínima. Todas las variables intervienen en la ecuación con signo positivo, excepto la temperatura mínima. Por otro lado, en la base de la prueba de validación del modelo de pronóstico, consideramos que el mejor modelo obtenido, no se considera apropiado para la predicción de las concentraciones medias diarias del polen de *Pinus*.

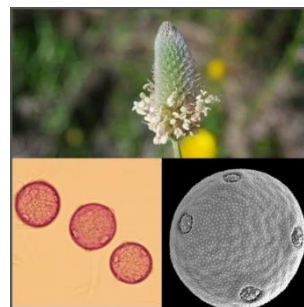
Si tenemos en cuenta la evolución de los días con diferentes niveles de concentración de polen de *Pinus*, en la atmósfera de Málaga, se observa que existe un incremento significativo de los días con niveles moderados (1-50 granos de polen/m<sup>3</sup>), lo que puede tener un efecto sobre las personas que pueden tener alergia a este tipo polínico (Tabla 4.75). Probablemente estos dudosos resultados se deben a la mezcla de los periodos de floración de diferentes especies que florecen en distintas épocas del año y que se suceden en febrero y junio.

La capacidad alérgica del polen de *Pinus* ha sido abordada en muchos estudios (Farnham & Vaida, 1982; Harris & German, 1985; Armentia *et al.*, 1990; Cornfold *et al.*, 1990; Marcos *et al.*, 2001; Yu *et al.*, 2000), poniendo de manifiesto en todos ellos su baja capacidad alérgica, debido al gran tamaño de su polen, que le impide penetrar en el tracto respiratorio (Armentia *et al.*, 1990), a pesar de la presencia de vesículas aeríferas que facilitan su dispersión a largas distancias (Lewis *et al.*, 1983) lo que, junto con su bajo contenido proteico (Cornfold *et al.*, 1990)

explican el escaso número de personas sensibilizadas, que sólo son frecuentes en zonas con una gran densidad de árboles (García Ortega & Belmonte, 2002). En España, concretamente en Vigo, este tipo polínico representa un 19% del total anual (Rodríguez Rajo *et al.*, 2004). Sin embargo, sólo el 3% de la población atópica presenta reacción al mismo (Belmonte *et al.*, 1998). Algo similar sucede en Burgos, donde sólo el 3% de los pacientes atópicos expresaron sensibilidad en las pruebas cutáneas, a pesar de ser el cuarto tipo polínico más abundante en esta localidad (Carretero *et al.*, 2005). En Madrid, donde *Pinus* representa el 7% del polen anual, el porcentaje de personas con reacción positiva osciló entre el 2% para pruebas realizadas con extractos de *P. pinaster*, 4% para *P. halepensis* y *P. pinea*, el 7% para *P. sylvestris* (Subiza *et al.*, 1995).

#### 4.3.8. Tipo polínico *Plantago*

El género pertenece a la familia de las plantagináceas, pudiéndose encontrar sus especies frecuentemente en praderas y pastizales secos, bordes de caminos, solares abandonados, cultivos y otros lugares nitrificados, siendo son muy frecuentes en los alrededores de las ciudades.



##### 4.3.8.1. Descripción botánica

Plantas herbáceas, anuales o perennes, con hojas simples, enteras o divididas, sin estípulas. Las flores son pequeñas, regulares, hermafroditas, dispuestas en espigas. Sépalos persistentes y soldados en la base, pétalos soldados en tubo con lóbulos patentes de consistencia papirácea. Estambres en número de cuatro, con largos filamentos externos. El ovario es súpero y desarrolla un fruto en pixidio.

Especies más frecuentes: *Plantago lagopus* L., *P. coronopus* L., *P. major* L., *P. serraria* L., *P. bellardii* All., *P. lanceolata* L., *P. psyllium* L. y *P. afra* L.

##### 4.3.8.2. Época de la floración/polinización

Florece en primavera desde abril a julio. La polinización es de tipo anemófila.

##### 4.3.8.3. Morfología polínica

Grano de polen polipantoporado, apolar, con simetría radial, esferoidal. Tamaño mediano, de 19-35  $\mu\text{m}$  de diámetro. Aberturas simples de tipo poro, en número de 5-16 por grano de polen, de unas 3 micras de diámetro, regularmente distribuidas por toda la superficie del mismo, generalmente con anillo. Tectum completo; inferactectum columelado. Membrana apertural granulada, provista de opérculo. Exina de unos 2  $\mu\text{m}$  de grosor, con la superficie de psilada a escábrida o verrucada.

##### 4.3.8.4. Variación interanual

El polen de *Plantago* presentó el 3,99% del espectro polínico total de la atmósfera de Málaga, ocupando así la sexta posición en cuanto a los tipos más abundantes. El IPA obtenido para este tipo polínico ha sido de 1.353 como promedio durante los años estudiados, si bien, se ha observado que existen diferencias interanuales con valores oscilando un mínimo de 399 (año 1995) y un máximo de 3.211 (año 1996) (Tabla 4.80).



| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 1.102 | 4,98    | 16          |
| 1993  | 1.518 | 4,99    | 20          |
| 1994  | 1.686 | 6,19    | 14          |
| 1995  | 399   | 1,95    | 16          |
| 1996  | 3.211 | 7,51    | 15          |
| 1997  | 2.388 | 3,64    | 18          |
| 1998  | 1.907 | 5,57    | 17          |
| 1999  | 1.220 | 2,67    | 15          |
| 2000  | 1.725 | 5,30    | 22          |
| 2001  | 1.246 | 2,84    | 14          |
| 2002  | 1.856 | 5,95    | 18          |
| 2003  | 1.047 | 2,64    | 18          |
| 2004  | 1.238 | 4,92    | 19          |
| 2005  | 703   | 1,64    | 16          |
| 2006  | 1.473 | 5,44    | 16          |
| 2007  | 1.618 | 3,49    | 19          |
| 2008  | 1.215 | 3,79    | 18          |
| 2009  | 1.174 | 2,83    | 15          |
| 2010  | 1.569 | 3,86    | 18          |
| 2011  | 957   | 3,45    | 15          |
| 2012  | 462   | 1,57    | 21          |
| 2013  | 1.526 | 3,67    | 17          |
| 2014  | 662   | 1,62    | 18          |
| 2015  | 559   | 1,84    | 17          |
| Media | 1.353 | 3,99    | 17          |

**Tabla 4.80.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

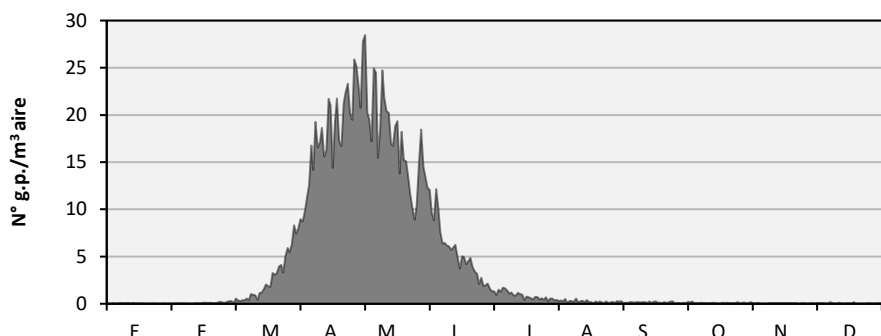
#### 4.3.8.5. Variación estacional

La estación polínica de *Plantago* comienza en marzo y finaliza en julio, alcanzando las concentraciones máximas durante los meses de abril-mayo, aunque se puede ver también que existen concentraciones importantes durante los meses de marzo y junio. Por otra parte, se aparecía que los niveles máximos de granos de polen de *Plantago* se detectan entre la semana 14 (años 1994 y 2011) y la 22 (año 2000), siendo el periodo comprendido entre las semanas 16 y 18 cuando se alcanzan las concentraciones máximas (Tabla 4.80).

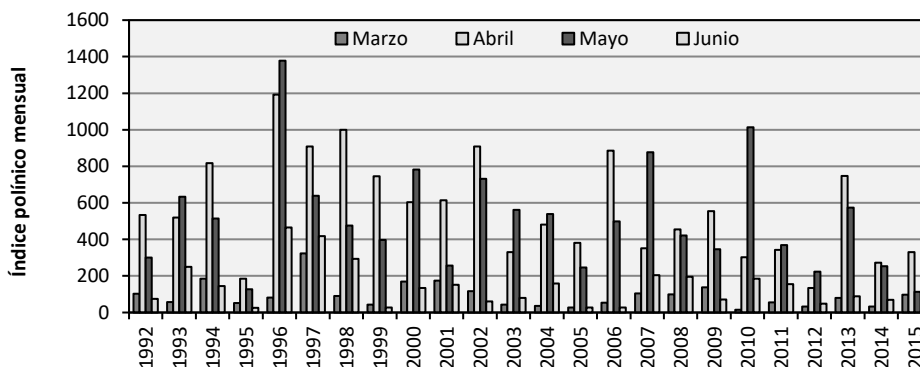
El análisis del promedio de las concentraciones medias diarias muestra que aparecen varios picos de diferentes intensidades, pero con un pico de mayor relevancia detectado a finales del mes de abril, que alcanzó los 28 granos/m<sup>3</sup> de media (Fig. 4.106).

Cuando se analizan la distribución anual se observa que la concentración del polen de *Plantago* comienza a aumentar a partir del mes de marzo, alcanzando las cantidades máximas en el mes de abril con un índice polínico mensual medio de 566. Sin embargo, los años 1993, 1996, 2000, 2003, 2004, 2007, 2010, 2011 y 2012 se detectaron los máximos mensuales en mayo. Estos índices polínicos mensuales registrados durante el mes de abril fluctuaron entre un mínimo de 134 (año 2012) y un máximo de 1.193 (año 1996), mientras aquellos obtenidos durante el mes de mayo oscilaron entre 1.378 como máximo (año 1996) y 113 como valor mínimo (año 2015).

Posteriormente, los niveles disminuyen en el mes de junio, en el que se registra un valor promedio de 140 (Fig.4.107).

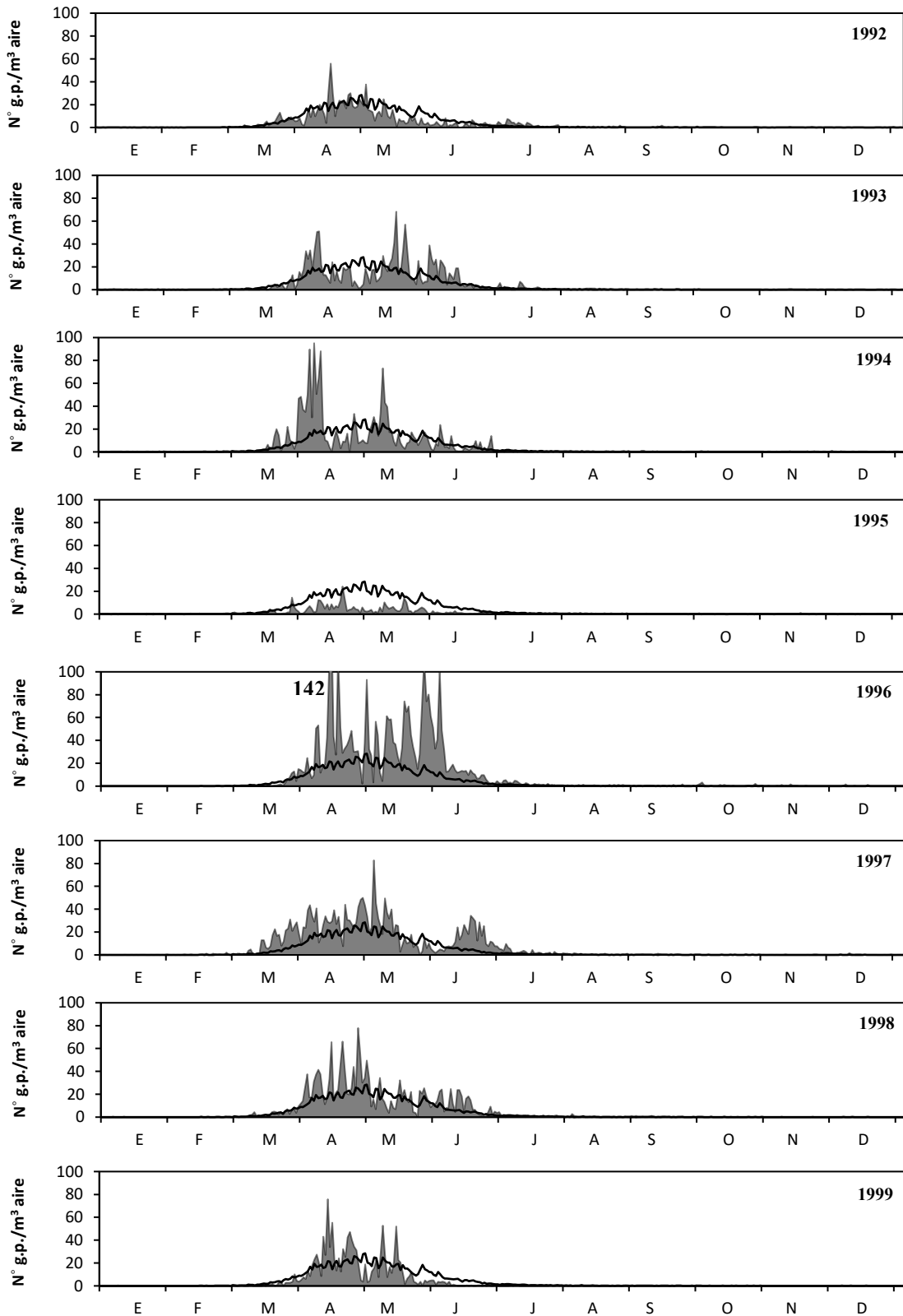


**Figura 4.106.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).



**Figura 4.107.** Índices polínicos mensuales obtenidos en marzo, abril, mayo, junio para el tipo polínico *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

La distribución de las concentraciones medias diarias del polen del *Plantago* muestra un patrón similar en los 24 años estudiados, con un periodo relativamente largo que va desde marzo hasta junio, mostrando una serie de picos de diferentes intensidades. El pico máximo diario ha tenido lugar en la primavera, durante el mes de abril (año 1992, 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2001, 2002, 2005, 2011, 2014 y 2015), habiéndose registrado un máximo de 153 g.p./m<sup>3</sup> (año 2002), o en el mes mayo durante los demás años, alcanzando un valor máximo de 90 g.p./m<sup>3</sup> (año 2000) durante dicho mes. Cabe destacar que en los años 1995, 2003, 2005, 2009, 2012, 2014 y 2015 se registraron concentraciones diarias muy bajas con succión de picos de diferentes intensidad que apenas llegaron a los 19 granos de polen/m<sup>3</sup>, mostrando un patrón de niveles inferiores a lo promediados (Fig. 4.108).



**Figura 4.108.** Concentraciones medias diarias de polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

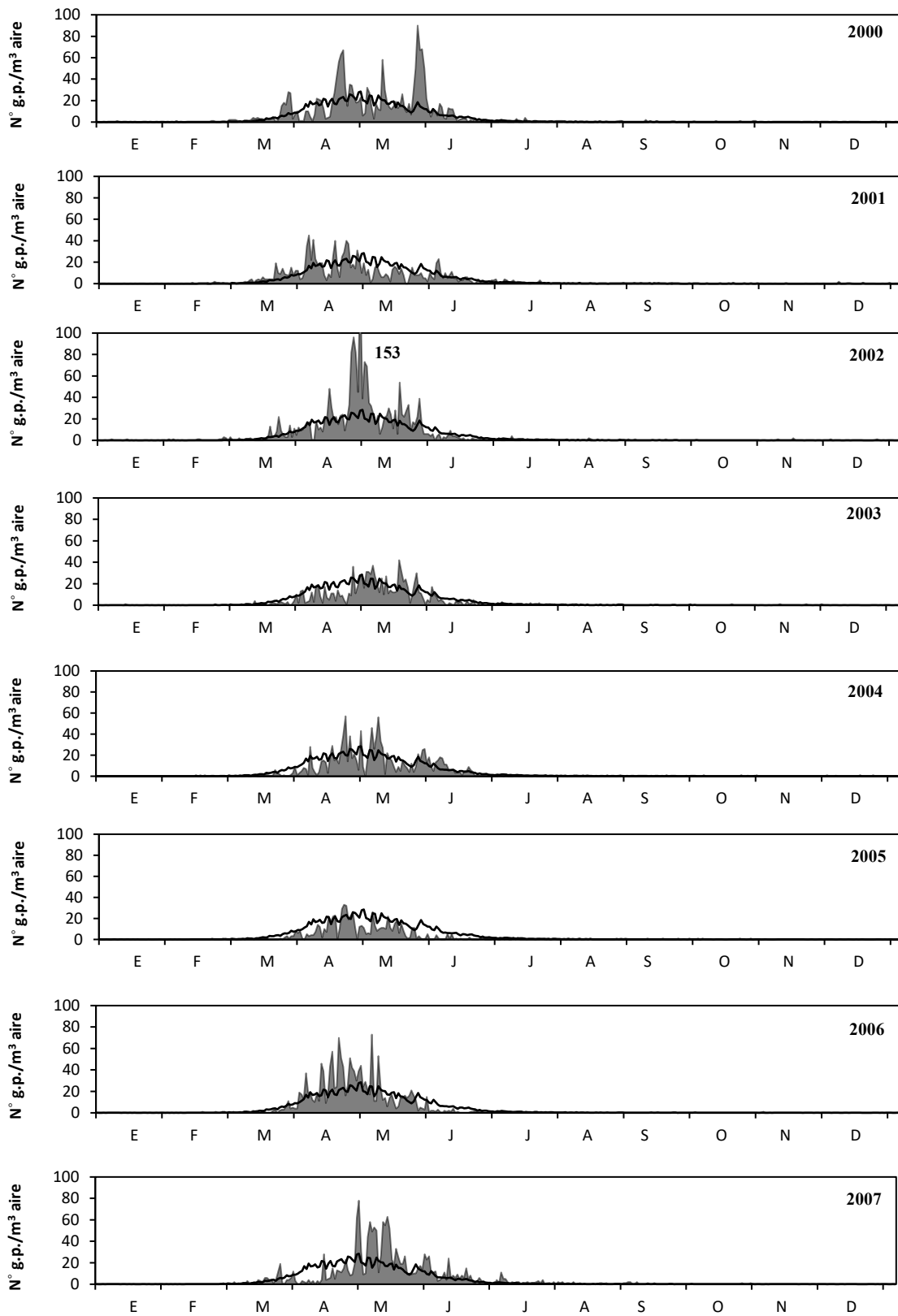


Figura 4.108. Continuación.

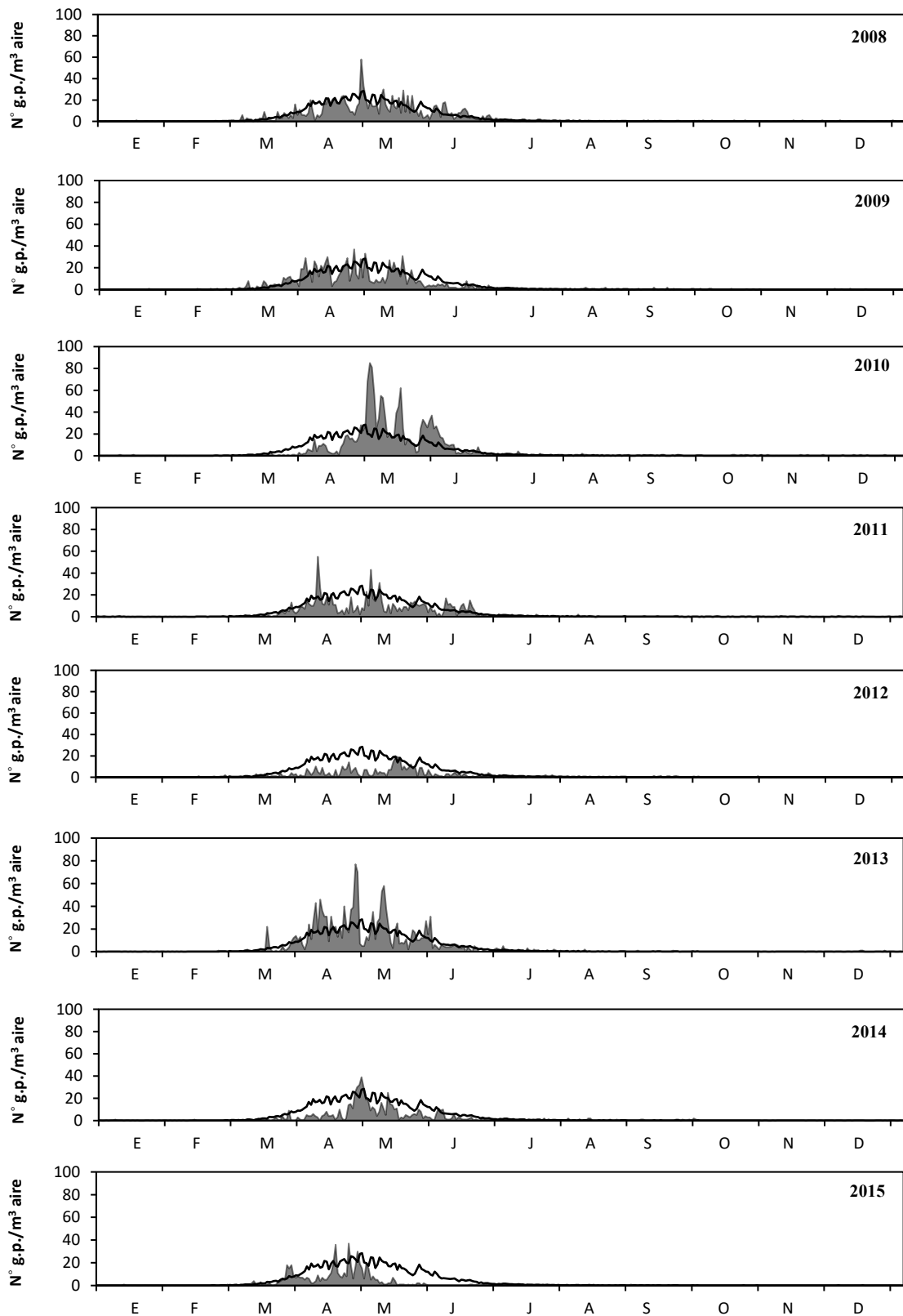


Figura 4.108. Continuación.

| Año              | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |                                       | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|------------------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|---------------------------------------|----------|---------------|-----------|---------------|
|                  | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Medi diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992             | 21-03 (82)/26-07 (210)  | 128      | 1.052         | 16-04 (107)     | 56                                    | 26       | 257           | 102       | 795           |
| 1993             | 27-03 (87)/09-07 (192)  | 105      | 1.448         | 15-05 (136)     | 68                                    | 49       | 807           | 56        | 641           |
| 1994             | 20-03 (80)/23-06 (175)  | 96       | 1.616         | 07-04 (98)      | 95                                    | 18       | 450           | 78        | 1.162         |
| 1995             | 16-03 (76)/23-06 (175)  | 100      | 377           | 20-04 (111)     | 24                                    | 35       | 156           | 65        | 221           |
| 1996             | 31-03 (91)/03-07 (185)  | 95       | 3.063         | 14-04 (105)     | 142                                   | 14       | 400           | 81        | 2.663         |
| 1997             | 17-03 (77)/06-07 (188)  | 112      | 2.272         | 04-05 (125)     | 83                                    | 48       | 1.261         | 64        | 1.011         |
| 1998             | 25-03 (85)/28-06 (180)  | 97       | 1.818         | 26-04 (117)     | 78                                    | 33       | 806           | 64        | 1.012         |
| 1999             | 28-03 (88)/01-06 (153)  | 66       | 1.166         | 13-04 (104)     | 76                                    | 16       | 231           | 50        | 935           |
| 2000             | 18-03 (78)/16-06 (168)  | 91       | 1.643         | 26-05 (147)     | 90                                    | 69       | 1.213         | 22        | 430           |
| 2001             | 14-03 (74)/06-07 (188)  | 115      | 1.188         | 05-04 (96)      | 45                                    | 22       | 208           | 93        | 980           |
| 2002             | 21-03 (81)/11-06 (163)  | 83       | 1.769         | 29-04 (120)     | 153                                   | 39       | 803           | 44        | 966           |
| 2003             | 25-03 (85)/02-07 (184)  | 100      | 995           | 17-05 (138)     | 42                                    | 53       | 677           | 47        | 318           |
| 2004             | 30-03 (90)/18-06 (170)  | 81       | 1.180         | 23-04 (114)     | 57                                    | 24       | 282           | 57        | 898           |
| 2005             | 29-03 (89)/22-06 (174)  | 86       | 666           | 21-04 (112)     | 33                                    | 24       | 221           | 72        | 448           |
| 2006             | 27-03 (87)/30-05 (151)  | 65       | 1.413         | 05-05 (126)     | 73                                    | 39       | 1.007         | 26        | 406           |
| 2007             | 20-03 (80)/17-07 (199)  | 120      | 1.543         | 30-04 (121)     | 78                                    | 39       | 343           | 85        | 1.200         |
| 2008             | 16-03 (76)/11-07 (193)  | 118      | 1.162         | 29-04 (120)     | 58                                    | 41       | 442           | 77        | 720           |
| 2009             | 13-03 (73)/03-08 (216)  | 144      | 1.118         | 25-04 (116)     | 37                                    | 70       | 537           | 74        | 581           |
| 2010             | 06-04 (97)/09-07 (191)  | 95       | 1.496         | 02-05 (123)     | 85                                    | 26       | 354           | 69        | 1.142         |
| 2011             | 25-03 (85)/08-07 (190)  | 106      | 915           | 10-04 (101)     | 55                                    | 16       | 133           | 90        | 782           |
| 2012             | 16-03 (76)/22-07 (204)  | 129      | 440           | 16-05 (137)     | 19                                    | 61       | 250           | 68        | 190           |
| 2013             | 25-03 (85)/29-06 (211)  | 97       | 1.453         | 27-04 (118)     | 77                                    | 33       | 635           | 64        | 818           |
| 2014             | 22-03 (82)/01-08 (214)  | 133      | 630           | 29-04 (120)     | 39                                    | 38       | 223           | 95        | 407           |
| 2015             | 13-03 (73)/25-06 (177)  | 105      | 535           | 25-04 (116)     | 37                                    | 43       | 292           | 62        | 243           |
| <b>1992-2015</b> | 21-03 (81)/01-07 (183)  | 102      | 1.290         | 27-04 (118)     | 67                                    | 37       | 500           | 67        | 790           |

Tabla 4.81. Indicadores del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el PPP del periodo 1992-2015.

#### 4.3.8.6. Periodo de polinación principal

En la Tabla 4.81, se observa que la duración media del PPP del polen de *Plantago* es de 102 días como promedio. El inicio de dicho periodo comenzó en la segunda quincena de marzo (el día 21-03) mientras que terminó a principios de julio (el día 01-07) como fechas medias. La duración de dicho periodo ha variado entre un mínimo de 65 días (año 2006) y un máximo de 133 días (año 2014), registrando una producción polínica entre los 377 (año 1995) y 3.063 (año 1996), resultando un índice polínico anual promedio para el PPP de 1.290.

Con respecto al día pico, se ha calculado el 27 de abril como fecha promedio y una media de 67 granos de polen/m<sup>3</sup> para su intensidad, si bien los días picos se registran mayormente durante la segunda quincena del mes de abril en el conjunto de los años (1992-2015), con excepción de 1993, 1997, 2000, 2003, 2006, 2010, 2012, años en los que se produjo el pico en el mes de mayo. El pico máximo diario ha fluctuado entre un máximo de 153 g.p./m<sup>3</sup> (año 2002) y un mínimo de 19 g.p./m<sup>3</sup> (año 2012).

Los periodos pre-pico de *Plantago* fueron muy variables, con una duración que osciló desde los 16 días (año 1999) hasta los 70 días (año 2009), presentando una duración media de 37 días. Las cantidades de polen registradas durante dicho periodo fueron diferentes de un año a otro, alcanzando el valor más alto de 1.261 (año 1997) mientras el más bajo fue de 133 (año 2011), siendo el índice polínico medio de 500 el obtenido durante dicho periodo.

En lo que se refiere a los periodos post-pico, la duración osciló entre un mínimo de 22 días (2000) y un máximo de 102 días (año 1992), presentando unos 67 días de duración media, más larga que el pre-pico. Los índices polen para este periodo presentaron un patrón irregular con diferencias de un año a otro (media de 790), con valores que oscilaron entre 190 (año 2012) y 2.663 (año 1996).

#### 4.3.8.7. Estudio de tendencias

- **Índice polínico anual**

La figura (4.109) muestra las variaciones interanuales del índice polínico anual del polen de *Plantago* durante los años estudiados. La línea de tendencia muestra que los niveles de este tipo polínico han presentado una disminución significativa ( $R^2=0,183$ ,  $p=0,037$ ) del IPA a lo largo del periodo estudiado, lo que coincide con los resultados obtenidos con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,326$ ;  $p=0,000$ ) (Tabla 4.82). Por otra parte, con la pendiente muestra un valor igual a -38,68 para los niveles del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante los 24 años estudiados.

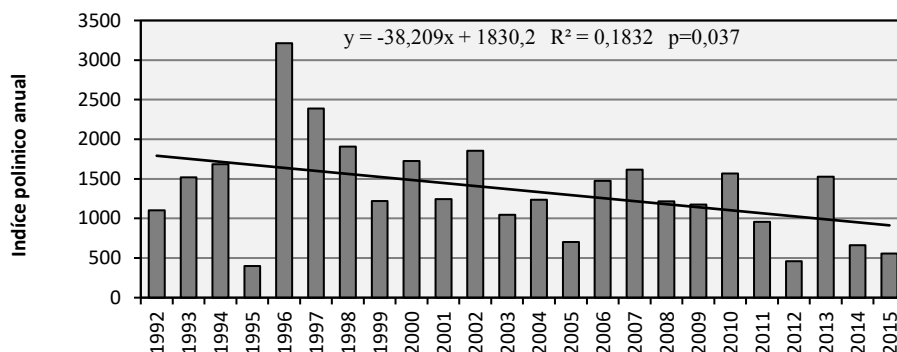


Figura 4.109. Evolución del índice polínico anual del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,326            | 0,000 | -38,68           |

Tabla 4.82. Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga, usando el test de Mann-Kendall y la estimación de la pendiente de Sen, durante la serie estudiada (1992-2015).

▪ Niveles del polen de *Plantago*

El análisis del comportamiento de los niveles del polen de *Plantago* según la categoría del grupo 2 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007) se muestra en la tabla 4.83. Asimismo, se observa que los días con las concentraciones nulas (<1 g.p./m<sup>3</sup>) han fluctuado entre 196 días (año 2009) y 284 días (año 1999), mostrando un valor promedio de 240 días (±22,3). Por otra parte, el número de días tomando en cuenta categoría 1-25 g.p./m<sup>3</sup> (niveles bajos) ha sido de un promedio de 111 días (±19) durante los años estudiados presentando un mínimo de 66 días (año 1999) y un máximo de 159 días (año 2009). En el caso tanto de niveles moderados (26-50 g.p./m<sup>3</sup>) como altos (>50 g.p./m<sup>3</sup>), se observa que aparecen coeficientes de variación elevados iguales a 77% y 133 %, respectivamente, lo que indica fluctuaciones considerables de un año a otro en los números de días que se alcanzan dichos niveles en la localidad de Málaga. Los días con valores comprendidos entre 26-50 g.p./m<sup>3</sup> han fluctuado entre un mínimo de 0 días y un máximo de 36 días, mientras que los días con concentraciones superiores a los 50 granos de polen/m<sup>3</sup> oscilaron entre un mínimo de 0 y un máximo de 21 días a lo largo del periodo estudiado.

| Niveles                           | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>    | 196    | 284    | 240   | 22,3         | 9      |
| Nº días 1-25 g.p./m <sup>3</sup>  | 66     | 159    | 111   | 21,4         | 19     |
| Nº días 26-50 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 36     | 10    | 8,0          | 77     |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 21     | 4     | 4,7          | 133    |

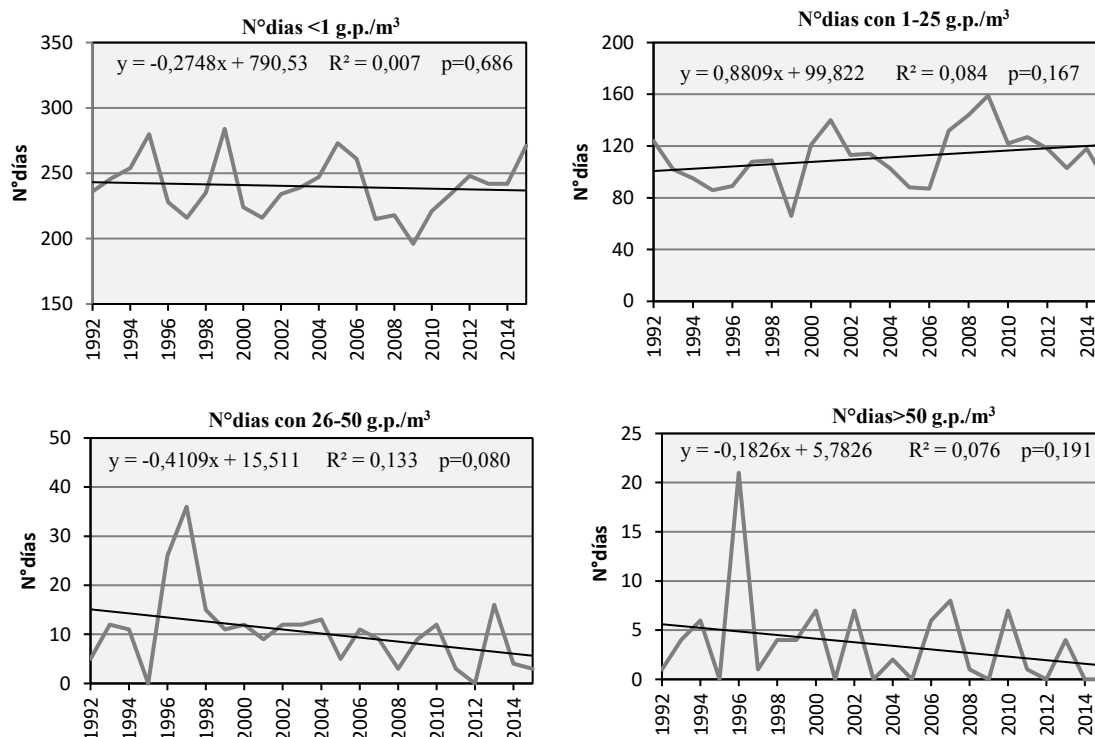
Tabla 4.83 Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Plantago* en la atmosfera de Málaga (1992-2015).



Tras aplicar el test no paramétrico de *Mann-kendall* para analizar la distribución de los días con diferentes niveles de granos de polen de *Plantago* durante el periodo estudiado, se observa que existe una tendencia negativa (no significativa) en cuanto al nº de días, ya sean los niveles nulos, moderados o altos, con valores de pendiente de *Sen* igual a -0,03, -0,37 y -0,04, respectivamente. Por lo contrario, se ha observado una tendencia positiva, pero estadísticamente no significativa en cuanto al número de días con la categoría 1-25 g.p./m<sup>3</sup>, con valores de pendiente de *Sen* igual a 0,81 (Tabla 4.84, Fig. 4.110).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de <i>Sen</i> |
|------------------------------------|-------------------|-------|-------------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                       |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,011            | 0,960 | -0,03                   |
| Nº días 1-25 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,182             | 0,224 | 0,81                    |
| Nº días 26-50 g.p./m <sup>3</sup>  | -0,275            | 0,071 | -0,37                   |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>    | -0,190            | 0,231 | -0,04                   |

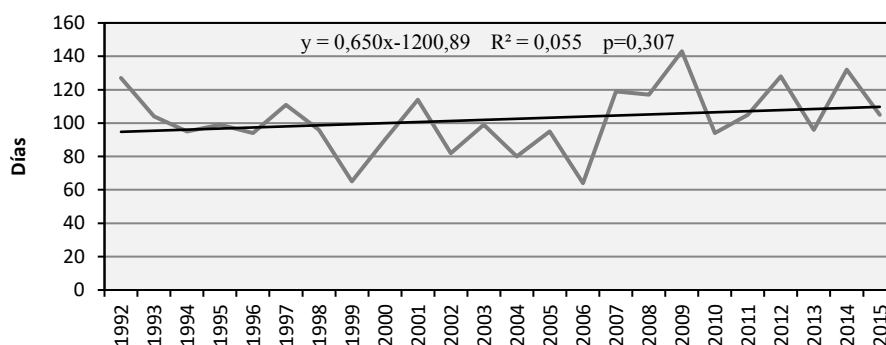
**Tabla 4.84.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Plantago*., en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.110.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

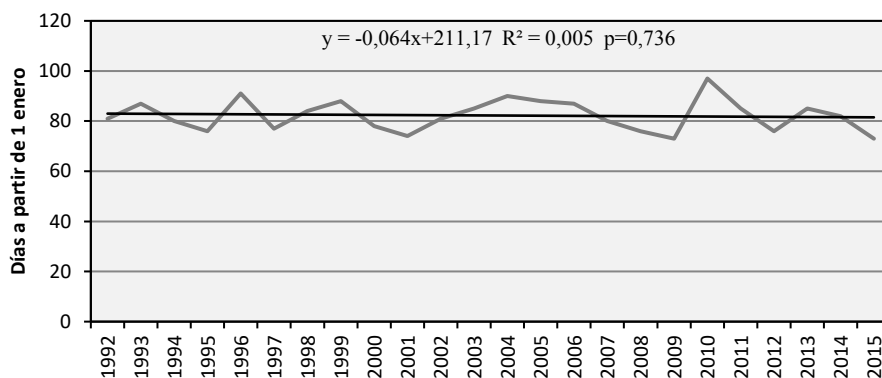
### ▪ Parámetros del PPP

Analizando la dinámica de la **duración del periodo de polinación principal** del polen de *Plantago* se muestra que hay una tendencia estadísticamente no significativa ( $Z=0,143$ ,  $p=0,345$ ) de alargamiento de dicho periodo, considerando los años analizados (Tabla 4.85). De hecho, la duración fue variando entre un mínimo de 64 días como y un máximo de 143 días, siendo de 102 días como media. Es de destacar que la duración del PPP de este tipo tiende a ser más prolongada desde el año 2007 hasta el 2015 llegando superar los 100 días, con excepción de los años 2010 y 2013 que tuvieron una duración de 95 y 97 días, respectivamente (Fig. 4.111).



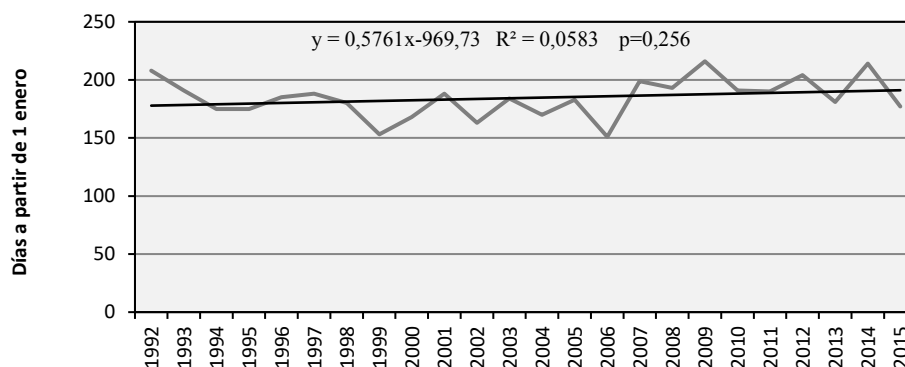
**Figura 4.111.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El **inicio del periodo de polinación principal** de *Plantago* prácticamente no muestra tendencia, si acaso, una muy ligera tendencia a adelantarse, aunque no significativa ( $Z=-0,092$ ,  $p=0,550$ ). El patrón del inicio de PPP muestra una dinámica estable con fluctuación entre los días 73 (13 marzo) y 97 (06 de abril) con una fecha media de inicio de la estación situada en el 21 de marzo ( $81 \pm 6$ ). El análisis de la evolución del inicio de la estación del polen de *Plantago* mediante la pendiente de *Sen* revela que dicha tendencia ha sido negativa, con una magnitud igual a  $-0,12$  (Fig. 4.112, Tabla 4.85).



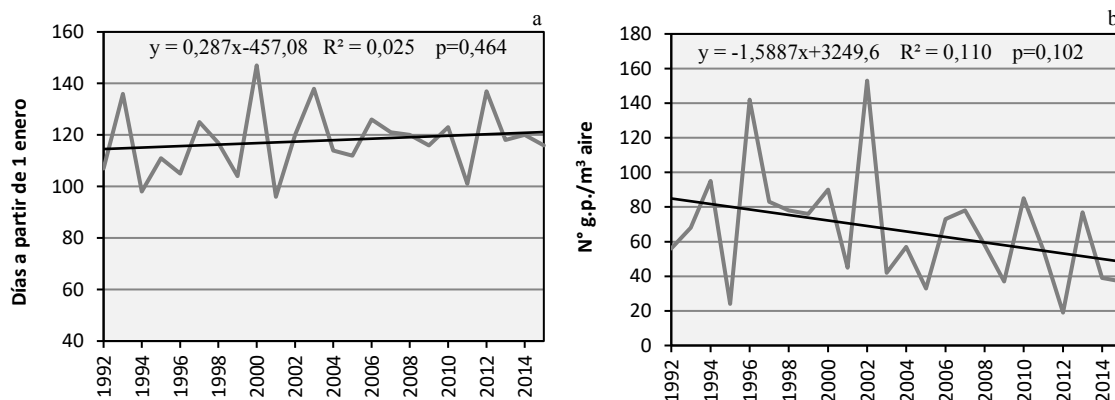
**Figura 4.112.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En cuando a los análisis de la dinámica del **final de la estación polínica** del *Plantago* se observa que hay una tendencia positiva que no es estadísticamente significativa ( $Z=0,142$ ,  $p=0,345$ ) indicando un retraso en las fechas de final de polinación, tal como queda confirmado por el test de *Mann-Kendall*, de forma que el valor de la tendencia de dicho parámetro fue igual a 0,58 según los resultados de la pendiente de *Sen*. Por otra parte, se observa que la fecha media de final del PPP ha sido el día 01/07 ( $183\pm 17$ ) presentando un comportamiento relativamente estable (Fig. 4.113, Tabla 4.85).



**Figura 4.113.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En lo referente al comportamiento tanto del **día pico** como del **valor máximo diario** obtenido durante el PPP, se puede ver un retraso de la fecha del máximo registro del polen de *Plantago* que viene explicado por el valor positivo de la pendiente de *Sen* (igual a 0,38), mientras que se observó una tendencia de descenso del pico máximo igual a -1,60, aunque las tendencias no fueron significativas en ambos casos (Fig. 4.114, Tabla 4.85).



**Figura 4.114.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico (a) del *Plantago* y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015.

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | -0,092            | 0,550 | -0,12            |
| Final PPP    | 0,142             | 0,345 | 0,58             |
| Duración PPP | 0,143             | 0,345 | 0,51             |
| Día pico     | 0,124             | 0,412 | 0,38             |
| Valor pico   | -0,255            | 0,087 | -1,60            |

**Tabla 4.85.** Resumen de los resultados del test de *Mann-Kendall* y de la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.8.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

En la tabla 4.86 se muestra los resultados obtenidos al realizar el análisis de las correlaciones entre las concentraciones medias diarias de polen de *Plantago* durante el PPP, incluyendo todos los años conjuntamente, y los parámetros meteorológicos. Se observa que aparecen correlaciones significativas y positivas tanto con la velocidad media del viento como con el porcentaje del viento del cuarto cuadrante mientras se obtuvo correlaciones significativas y negativas con las temperaturas (máximas, medias, mínimas), horas de sol, viento del primer y segundo cuadrante y también con la calma.

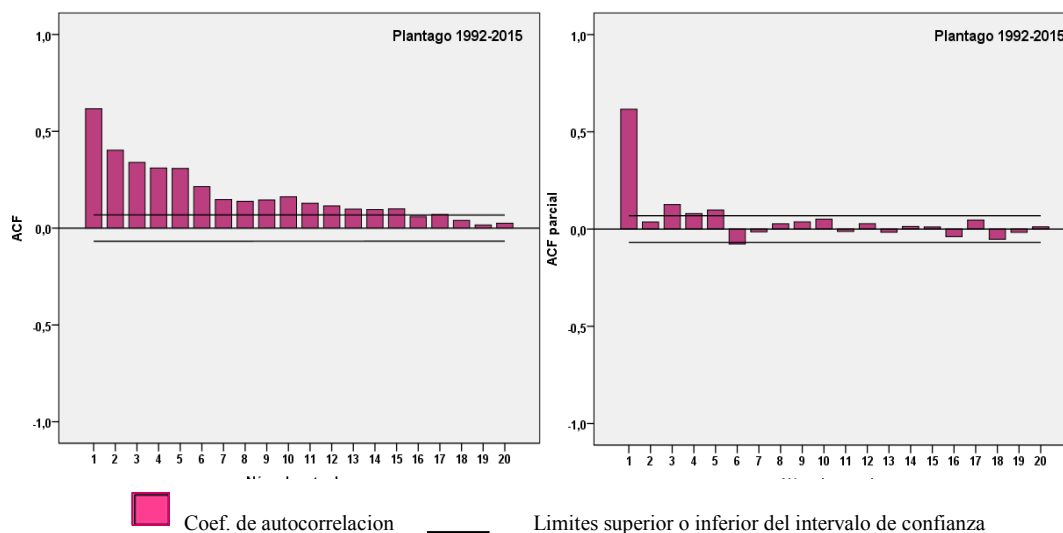
A considerar sólo el periodo pre-pico, se muestra que aparecen coeficientes de correlación positivos y significativos con las temperaturas y con las horas de sol, mientras que con las precipitaciones y la humedad relativa aparecieron correlaciones significativas y negativas. Con la dirección del viento, aparece un patrón similar al obtenido considerando el PPP completo, ya que se obtuvo una correlación significativa y positiva con el viento de cuarto cuadrante y negativa con el resto. Considerando el periodo post-pico, se obtuvieron correlaciones significativas y negativas con las temperaturas y con las horas de sol. Los coeficientes de correlación también fueron significativos para los porcentajes de viento de segundo y cuarto cuadrante, con valores negativos en el primer caso, y positivos en el segundo. Se obtuvieron correlaciones positivas con la velocidad media del viento y negativas con la calma. Por último, las precipitaciones y la humedad relativa no presentaron valores significativos de correlación durante el periodo post-pico.

#### 4.3.8.9. Análisis de autocorrelaciones

En la figura 4.115, se muestran los resultados del análisis de autocorrelación en los que aparecen 14 retardos que presentan un grado de asociación estadísticamente significativo. Este grado de asociación fue decreciendo mientras se incrementa la distancia entre los datos a correlacionar, siendo el día anterior el que obtuvo el mayor coeficiente de autocorrelación. Por otra parte, analizando las autocorrelaciones parciales se puede ver que sólo se detectó 6 retardos con un coeficiente de correlación estadísticamente significativo, sin embargo, se muestra que el valor de los coeficientes disminuye excepto en el retardo del día anterior, razón por lo cual se optó por elegirlo como variable independiente para incluirla en los modelos de pronóstico.

|                    | PPP<br>N=2466 | Pre-pico<br>N=853 | Post-pico<br>N=1614 |
|--------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| Precipitación      | -0,002        | -0,153**          | 0,041               |
| T <sup>a</sup> max | -0,228***     | 0,333***          | -0,333***           |
| T <sup>a</sup> med | -0,281***     | 0,333***          | -0,440***           |
| T <sup>a</sup> min | -0,321***     | 0,224**           | -0,506***           |
| Humedad rel.       | -0,010        | -0,131**          | -0,046              |
| Horas de Sol       | -0,062*       | 0,194*            | -0,104*             |
| V. med viento      | 0,067*        | -0,032            | 0,127***            |
| % Vto. 1°C.        | -0,043*       | -0,018            | -0,032              |
| % Vto. 2°C.        | -0,207**      | -0,071*           | -0,313**            |
| % Vto. 3°C.        | -0,016        | -0,079*           | 0,019               |
| % Vto. 4°C.        | 0,226**       | 0,118**           | 0,316**             |
| Calma              | -0,102*       | -0,011            | -0,141**            |

**Tabla 4.86.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .



**Figura 4.115.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de las concentraciones medias diarias del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

## 4.3.8.10. Modelos de pronóstico

En la tabla 4.87, se presentan los resultados del estudio de regresión múltiple por pasos realizados entre las concentraciones polínicas de *Plantago* durante el periodo pre-pico (variable dependiente) y las distintas variables meteorológicas (variables independientes). Así, se obtuvieron tres modelos cuyos coeficientes de determinación es relativamente bajo. El primer paso incluyó un sólo parámetro, la temperatura media como variable independiente que tuvo un coeficiente de determinación de 0,106. En el segundo, se incluye además la velocidad media del viento, obteniéndose un valor de  $R^2$  igual a 0,119. Por otra parte, se puede ver que en el modelo (3a), se ha conseguido mejorar ligeramente el valor de  $R^2$  hasta 0,126 tras introducir las horas de sol como variables explicativas de las concentraciones de polen de *Plantago* durante el pre-pico. Las variables incluidas tanto las horas de sol y la temperatura media presentan un signo positivo mientras la velocidad media del viento presenta un signo negativo indicando el papel positivo de las primeras, y el efecto negativo de la última. En cualquier caso, todos los coeficientes de determinación fueron significativos.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos                        | $R^2$ | p     |
|--------|---|-------|-------|
| 1a     | Plan=1,948 T <sup>a</sup> med-18,299                            | 0,106 | 0,000 |
| 2a     | Plan=1,965 T <sup>a</sup> med-0,155 Vel.Med.Vt-16,69            | 0,119 | 0,000 |
| 3a     | Plan=1,825 T <sup>a</sup> med-0,107 Vel.Med.Vt+0,358 H.S-17,492 | 0,126 | 0,000 |

**Tabla 4.87.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Plantago* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).

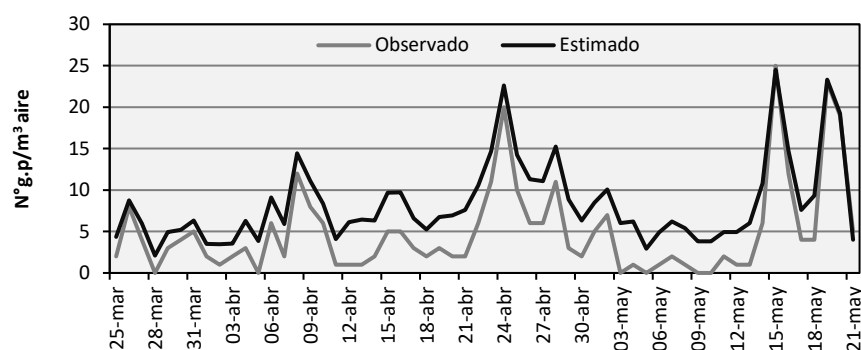
Con la inclusión de otras variables no meteorológicas, tanto la D-media como la concentración del día anterior, se observa que las rectas de regresión mostraron un valor de  $R^2$  más elevado para los datos del periodo pre-pico. De hecho, se proponen 3 modelos, el primero consiste en una ecuación utilizando las concentraciones del día anterior como variable predictora obteniéndose un valor alto de  $R^2$  igual a 0,702. En cuanto a los modelos 2b y 3b, estos muestran un ligero incremento de los coeficientes de determinación en cada uno de los modelos, llegando a valor máximo del coeficiente de determinación del 0,714 donde la concentración del día anterior, la D-media, la temperatura máxima que ejercen una mayor influencia sobre las concentraciones polínicas del *Plantago* durante el periodo pre-pico (Tabla 4.88).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos                                  | $R^2$ | p     |
|--------|---|-------|-------|
| 1b     | Plan= 0,888 Plan <sub>t-1</sub> +2,335                                    | 0,702 | 0,000 |
| 2b     | Plan=0,846 Plan <sub>t-1</sub> +0,225 Dmed-0,362                          | 0,712 | 0,000 |
| 3b     | Plan=0,830 Plan <sub>t-1</sub> +0,215 Dmed+0,236 T <sup>a</sup> max-4,684 | 0,714 | 0,000 |

**Tabla 4.88.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Plantago* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1992-2015).

### Validación del mejor modelo

Para finalizar con la validación del mejor modelo de pronóstico obtenido en el apartado anterior, se realizaron una serie de pruebas entre las concentraciones medias diarias estimadas durante el pre-pico y las observadas del polen de *Plantago* para el año 2016. En la figura (4.116) se muestra el grado de asociación entre los datos observados y los estimados en función de la mejor ecuación de regresión (modelo 3b) obtenida de los modelos de pronóstico en el apartado anterior. Para ellos, se ha efectuado la prueba de correlación de *Spearman* entre las dos series de datos (valores medios diarios), obteniéndose un alto coeficiente de correlación estadísticamente significativo, de 0,857 que confirma la buena asociación. Este resultado, se coincide con el observado al realizar la prueba de *Wilcoxon*, indicando que no existen diferencias significativas entre los datos comparados (Tabla 4.89).



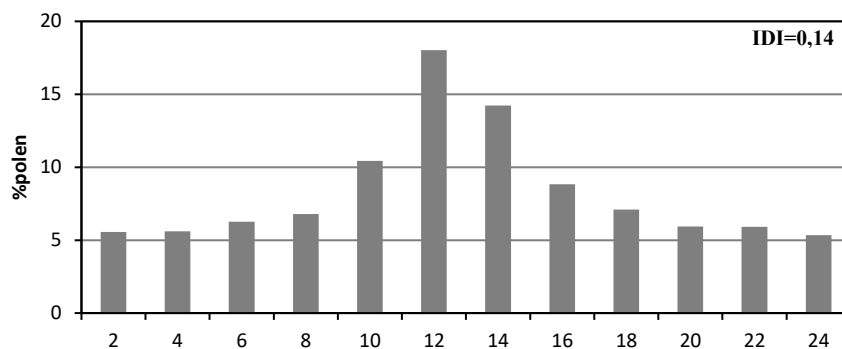
**Figura 4.116.** Concentraciones medias diarias del polen de *Plantago* durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 3b de las ecuaciones de regresión.

|  | <i>Spearman Test</i> |       | <i>Wilcoxon Test</i> |         |        |       |
|--|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|  | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 3b</b><br>Observado-Estimado | 0,857                | 0,000 | 35                   | 28      | -2,468 | 0,410 |

**Tabla 4.89.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido de las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.8.11. Variación intradiaria

La distribución intradiaria del polen de *Plantago* durante el conjunto de los años estudiados muestra un incremento de las concentraciones durante el mediodía, con valores máximos localizados entre 10-12 horas. El valor promedio del IDI ha sido igual 0,14 ( $\pm 0,05$ ), con un coeficiente variación (Cv) de 36% (Fig. 4.117).



**Figura 4.117.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Al estudiar la distribución intradiaria del polen de *Plantago* cada año, por separado (Fig. 4.118), se observa un comportamiento similar al patrón promedio descrito anteriormente, presentando un comportamiento bastante estable. Los picos máximos se alcanzan entre las 10:00 y las 12:00 horas en la mayoría de los años con un valor máximo registrado en año 2004 con el 28% del polen total diario, si bien podemos observar que en el año 1995 se registraron las máximas concentraciones entre las 12 y las 14 horas. El índice de distribución intradiario osciló entre un máximo de 0,26 (año 2004) y un mínimo de 0,07 (año 2008).

#### 4.3.8.12. Discusión

El tipo polínico *Plantago* representa 3,99% del espectro polínico total de la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado, siendo los meses de abril y mayo los que presentan la máxima producción polínica. El índice polínico anual medio de los registros de polen de *Plantago* obtenidos en este estudio fueron similares a los reportados en otras localidades de la provincia malagueña como Antequera (Recio *et al.*, 2000), Estepona (Recio *et al.*, 2006) y Nerja (Docampo, 2008). Si bien es cierto que este polen aparece en todas las estaciones aerobiológicas españolas, los índices polínicos alcanzan valores importantes en localidades como Badajoz llegando a superar un índice polínico anual medio de 2.346 analizando un periodo de 20 años, mientras los valores medios registrados en dicho periodo, por otras localidades apenas supera el valor de 300, como Cartagena (281) y en Granada (309) (Galán *et al.*, 2016), pero, por lo general en el sur de España se registran mayores cantidades de este tipo polínico que en la zona norte (Gutiérrez *et al.*, 1999).



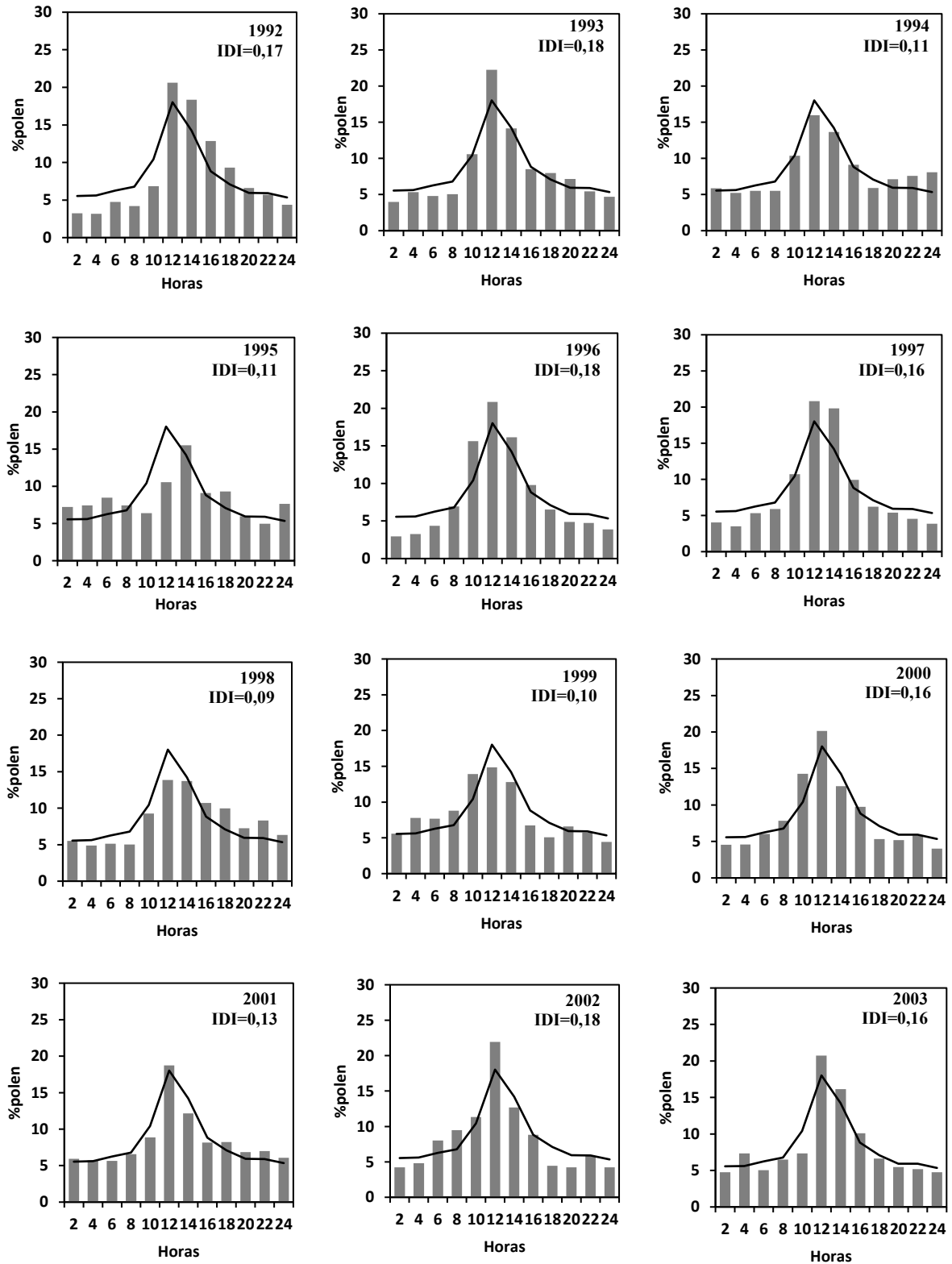


Figura 4.118. Variación intradiaria del polen de *Plantago* en cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (línea).

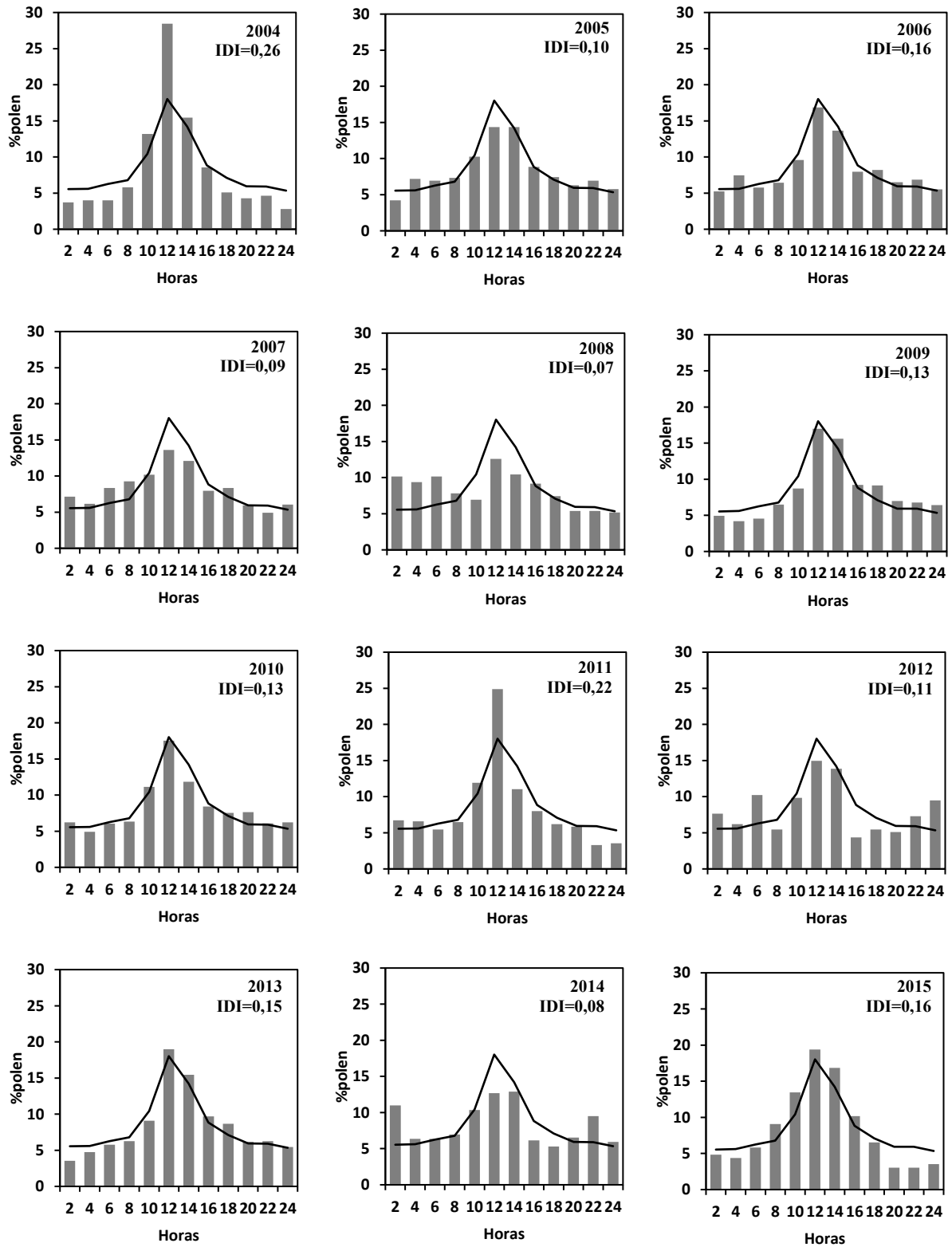


Figura 4.118. Continuación.

A lo largo de los 24 años de estudio, el polen de *Plantago* ha presentado un comportamiento interanual muy irregular en término de polinación. Así, en los años 1995, 2005, 2012, 2014 y 2015 se obtuvieron valores del IPA inferiores a la media, lo podría estar explicado por las bajas cantidades de precipitaciones registradas en dichos años (Tabla 4.4). González-Parrado *et al.* (2014) muestran que los registros polínicos de *Plantago* varían de un año a otro dependiendo principalmente de las condiciones climáticas y del suelo. Por otra parte, Trigo *et al.* (1997) explicaron que el crecimiento de las plantas herbáceas, tal como *Plantago*, parece estar influida por la lluvia acumulada durante los tres meses previos al periodo de polinación. De forma general, en este trabajo se ha observado una tendencia negativa y significativa de la disminución del índice polínico anual durante el periodo estudiado (Fig.4.109). Resultados similares de disminución significativa de los niveles de polen de *Plantago* han sido observado en Badajoz (Galán *et al.*, 2016), también ha sido detectado un patrón similar en el noroeste (González Parrado *et al.*, 2009) y en el suroeste de España (Tormo-Molina *et al.*, 2010). Según García-Mozo *et al.* (2016), el comportamiento observado de disminución en los niveles del polen de *Plantago* durante los años estudiados puede estar relacionado, junto con el fenómeno del cambio climático, a los cambios en el uso de suelo, debido a las recientes estrategias de planificación de las zonas urbanas, lo que implica un aumento de la superficie urbanizada y una reducción de los terrenos abandonados.

El estudio de la evolución de las características más importantes del periodo de polinación principal del polen de *Plantago* durante los años de estudio no sólo mostró una tendencia a una disminución de los índices polínicos anuales de granos de polen de este tipo en la atmósfera de Málaga, sino también del valor de concentración máxima diaria, así como un retraso de la fecha en que se produce este pico. En zonas del norte (González-Parrado *et al.*, 2014, Ziello *et al.*, 2012), no se encontró una tendencia clara para el polen *Plantago* en cuando al patrón de los niveles totales de este tipo. La variación del valor pico puede ser explicado por la variación de las condiciones climáticas, fundamentalmente de las temperaturas máximas (Tormo-Molina *et al.*, 2001; Alcázar *et al.*, 2009; Puc, 2009). Por otra parte, se detectó en nuestra área un muy ligero adelanto en la fecha de inicio de este tipo polínico junto con un aumento de la longitud del PPP. Resultados similares han sido observado para este tipo en Ourense durante un periodo de 17 años (Iglesias-Otero *et al.*, 2015). Como se ha comentado previamente, los cambios en la temperatura del aire en los últimos años podrían afectar la variación estacional del polen de *Plantago*, provocando un adelanto en el inicio del PPP cuando el clima se vuelve más cálido (Rodríguez de la Cruz, 2009). Por otra parte, se ha observado que el dicho adelanto del inicio del PPP ha estado acompañado por un retraso, también muy ligero, del final de dicho periodo. Obrebska-Starkłowa (1977) mostraron que la duración de la estación polínica depende de la fecha de inicio, ya que un adelanto de la misma explica un alargamiento de la duración. Como resumen del comportamiento de este tipo, se muestra que las fechas de inicio y final fueron estables con coeficientes de variación que no superan los 7% para el comienzo y 9% para el final, lo que implica también un patrón considerado estable de la duración del PPP (con sólo un CV=18%) durante los 24 años de estudios. También, ocurre lo mismo en cuanto a la dinámica de la fecha del día pico, aunque parece que los valores máximos presentaron un comportamiento más variable (CV=48%), probablemente debido a la variación interanual de las condiciones climáticas, lo que favorece dicho comportamiento tal y como ha sido observado por Tormo Molina *et al.* (2001) en otras localidades de España y también por Puc (2009) en Polonia.

En lo que a comportamiento intradiario se refiere, se ha observado que este tipo polínico tuvo un patrón bastante estable a lo largo de los 24 años estudiados. Esto coincide con lo que observado por Recio *et al.* (1997b) y Trigo *et al.* (1997) en trabajos anteriores realizados en la misma localidad, registrándose las mayores concentraciones en torno las 12 horas del mediodía con un incremento de más del 20% del total diario. Esta dinámica concuerda con lo descrito por Fernández-Rodríguez *et al.* (2014b) y Vaquero del Pino (2015). Por el contrario, Galán *et al.* (1991) obtuvieron curvas con un periodo de mayor actividad detectada a las horas de la tarde, mientras que Wahl & Puls (1991) observaron que las mayores concentraciones de *Plantago lanceolata* en Essen (Alemania), se producían entre las diez de la mañana y las dos de la tarde.

Diferentes estudios han analizado el impacto de los parámetros meteorológicos sobre en la concentración de polen de *Plantago* en el aire (García- Mozo *et al.*, 2007; Gutiérrez *et al.*, 1999; Puc, 2009; Stennett & Beggs 2004; Tormo Molina *et al.*, 2001; Trigo *et al.*, 1997). En nuestro caso, en la base de los resultados obtenidos del análisis estadístico de correlación se puede decir que los parámetros meteorológicos que mejor explican las fluctuaciones diarias de polen de *Plantago* a lo largo del periodo de polinación principal son las temperaturas y las horas de sol, junto con la velocidad y la dirección del viento. El efecto positivo de las horas de sol sobre la concentración del polen de *Plantago* en el aire ha sido observado por Trigo *et al.* (1997). En su trabajo explicaron que los parámetros indicadores de calor (las temperaturas y las horas de sol) se correlacionaran positivamente y significativamente con las concentraciones de polen mientras que se obtuvieron correlaciones negativas con la humedad relativa y las precipitaciones. Durante el periodo pre-pico, el incremento de las temperaturas y la insolación favorecen los procesos de anthesis y dehiscencia de las anteras, mientras durante el periodo post-pico aparecen correlaciones de signo negativo debido al hecho de que los niveles de polen en el aire tienden a disminuir mientras esos parámetros continúan en aumento. Por otra parte, se observa que el viento posee una gran influencia en el transporte, dispersión y permanencia del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga, como se ha explicado en trabajos anteriores en esta misma localidad (Trigo *et al.*, 1997). Asimismo, las correlaciones fueron siempre positivas y significativas con los vientos del cuarto cuadrante, procedentes del Valle de Guadalhorce, mientras fueron de signo negativo con los vientos del segundo cuadrante. Esto viene explicado por la orográfica de la zona de estudio y los vientos dominantes (NO y SE). Hay que señalar que aparecieron también coeficientes de correlación significativos y negativos del viento de primer cuadrante durante el PPP y también con el viento de tercer cuadrante durante el pre-pico. Esas dos direcciones de viento son pocas frecuentes en la ciudad de Málaga lo que explica el signo negativo de las correlaciones. Debido a la situación de la ciudad de Málaga, que se encuentra rodeada de montañas y abierta al valle del río Guadalhorce, situado en dirección NO, se constituye un pastillo por donde pueden llegar pólenes de zonas interiores. Además, la Vega del Guadalhorce es una amplia zona de cultivos y prados donde abundan los pastizales y las plantas ruderales. El papel del viento ha sido explicado por Tormo Molina *et al.* (2001) y González- Parrado *et al.* (2014), quienes explicaron que este parámetro puede inducir un aumento o disminución de las concentraciones de polen en la atmósfera dependiendo de su procedencia.

En relación con los análisis de modelos de pronóstico realizados, se ha obtenido un modelo de regresión múltiple lineal cuyos variables independientes la concentración del día anterior definido ( $Plan_{t-1}$ ), la D-media y la temperatura máxima. Este modelo obtuvo un coeficiente de determinación igual a  $R^2=0,714$  y se considera adecuado para predecir las concentraciones medias diarias del polen de *Plantago*, a la vista de las pruebas estadísticas realizados, *Spearman* y *Wilcoxon* (Tabla 4.89).

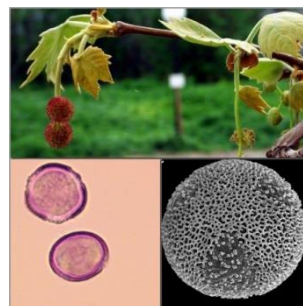
El polen de *Plantago* es considerado entre las principales causas de polinosis desde los años 20 (Watson & Constable, 1991) pero su alergenicidad varía mucho dependiendo de la zona bioclimática. La incidencia de la alergia a *Plantago* ha sido reportada en zonas tan distintas como Australia (Krilis *et al.*, 1985), Estados Unidos (Lewis *et al.*, 1983). En Europa, la prevalencia al polen de *Plantago* no fue homogénea, habiéndose registrado un 7% de resultados positivos mediante prick test en Nápoles (D'Amato & Lobefalo, 1989). En Holanda y Montpellier se hallaron prevalencias más elevadas con un 36% de la población alérgica (Driessen & Derksen, 1989; Bousquet *et al.*, 1984).

En España, se ha realizado estudios de pruebas cutáneas en diversas ciudades como Córdoba (Domínguez-Vilches *et al.*, 1993) donde el 29% de los pacientes presentaron un prick test positivo, 56% en Jaén (Ruiz, 2001), 41% en Coruña (Ferreiro *et al.*, 1998) y 23% en Almería (Sabariego, 2003). En Madrid ese porcentaje alcanza el 59% (Subiza *et al.*, 1995), mientras en Toledo se obtuvo un 78% (Moral de Gregorio *et al.*, 1998) y por último en Málaga (Torrecillas *et al.*, 1998; García-González *et al.*, 1998) encontraron un nivel de 12% de sensibilizaciones en pruebas cutáneas.

Se han identificado al menos 16 antígenos diferentes en extractos de polen de *Plantago* y al menos 6 de éstos pueden ser alergénicos (Baldo *et al.*, 1982), resultando Pla 11 que fue descrito como el alérgeno principal por Calabozo *et al.* (2001). Por lo general, la reactividad cruzada entre las diferentes especies es poco frecuente, sin embargo, en Málaga se puso de manifiesto que pacientes con alergia a frutas y vegetales presentaron una mayor frecuencia de sensibilización al polen de *Plantago* (García González, 1994).

### 4.3.9. Tipo polínico *Platanus*

Pertenece a la familia de las platanáceas, que incluye entre 6 y 7 especies originarias de las zonas templadas de América y Europa. Se conoce en común como árbol de sombra y para formar alineaciones de paseos y bordes de carretera, también se usa como ornamental en parques y jardines. La especie más frecuente es *Platanus hispánica* ex Münchh. (*P. hybrida* Brot.).



#### 4.3.9.1. Descripción botánica

El plátano de sombra es un árbol caducifolio con un porte hasta 30 m de altura, con troncos gruesos. Hojas son simples, alternas, palmeadas. Monoico, con inflorescencias unisexuales, esféricas, flores masculinas con 4 a 6 estambres, flores femeninas con 3 a 6 carpelos libres.

#### 4.3.9.2. Época de floración/polinización

La floración está comprendida entre los meses de marzo a abril y su polinización es de tipo anemófila.

#### 4.3.9.3. Morfología polínica

Trizonocolpado, isopolar, radiosimétrico. De subtriangular a subcircular en visión polar, de subcircular a elíptico en visión ecuatorial. Polen de tamaño pequeño, con eje polar de 18 a 24  $\mu\text{m}$  de longitud y diámetro ecuatorial de 20 a 26  $\mu\text{m}$ . Colpos anchos, subterminales, con membrana apertural granulada. Exina de 2  $\mu\text{m}$  de grosor e intina engrosada debajo de los colpos. Superficie reticulada.

#### 4.3.9.4. Variación interanual

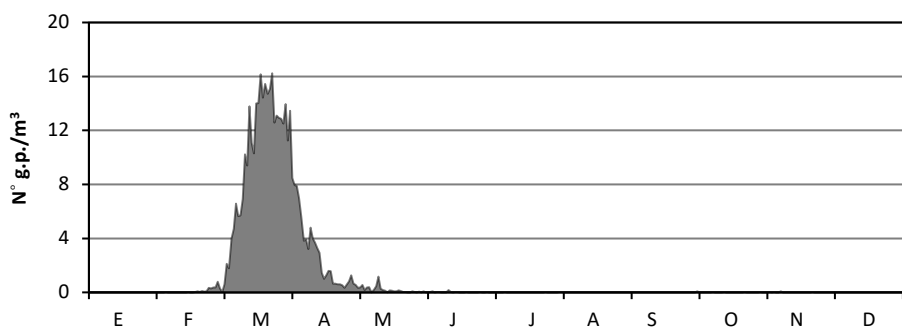
El polen de *Platanus* contribuye con el 1,20% al espectro polínico total de la atmósfera de Málaga, contabilizándose un índice polínico total medio de 406 durante el periodo 1992-2015. Los IPAs registrados fueron bajos en los primeros años (1992-1996) pero han sido aumentando en los siguientes años, ya que estos varían entre los 198 del año 1992 y los 729 del año 2013 (Tabla 4.90). Cabe destacar que el polen de *Platanus* ha representado un porcentaje anual de 1,76% (año 2015), 1,75% (año 2013), 1,83% (año 2006) y 1,94% (2011) frente al total del polen recogido en esos años, siendo los porcentajes más altos observado a lo largo de la serie estudiada.

| Años  | IPA | % anual | Semana pico |
|-------|-----|---------|-------------|
| 1992  | 198 | 0,90    | 11          |
| 1993  | 277 | 0,91    | 11          |
| 1994  | 159 | 0,58    | 11          |
| 1995  | 284 | 1,39    | 12          |
| 1996  | 279 | 0,65    | 13          |
| 1997  | 496 | 0,75    | 10          |
| 1998  | 271 | 0,79    | 12          |
| 1999  | 546 | 1,19    | 11          |
| 2000  | 339 | 1,04    | 10          |
| 2001  | 419 | 0,96    | 10          |
| 2002  | 534 | 1,71    | 12          |
| 2003  | 307 | 0,77    | 11          |
| 2004  | 229 | 0,91    | 12          |
| 2005  | 429 | 1,00    | 13          |
| 2006  | 496 | 1,83    | 11          |
| 2007  | 437 | 0,94    | 10          |
| 2008  | 382 | 1,19    | 11          |
| 2009  | 355 | 0,86    | 11          |
| 2010  | 538 | 1,32    | 13          |
| 2011  | 540 | 1,94    | 13          |
| 2012  | 438 | 1,49    | 12          |
| 2013  | 729 | 1,75    | 11          |
| 2014  | 527 | 1,29    | 12          |
| 2015  | 538 | 1,76    | 13          |
| Media | 406 | 1,20    | 12          |

**Tabla 4.90.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

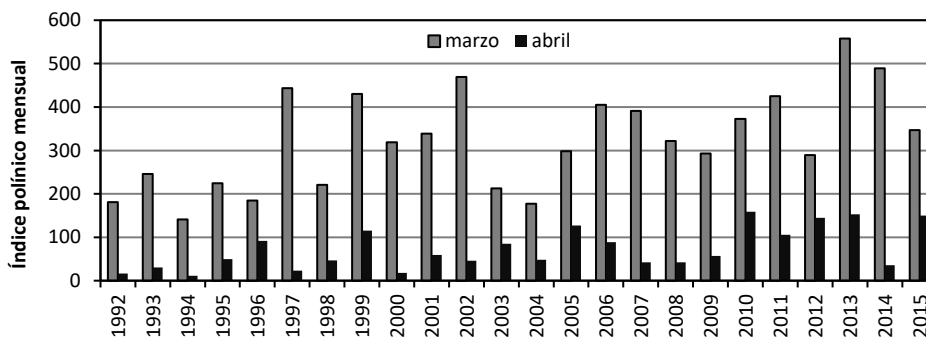
#### 4.3.9.5. Variación estacional

En la curva de la evolución promediada de las concentraciones medias diarias de *Platanus* se observa que este tipo polínico se detecta en la atmósfera durante un periodo de tiempo muy definido, comprendido en los meses de marzo y abril, siendo el mes de marzo cuando se alcanzan los niveles máximos, aunque también se puede ver que se detectan cantidades muy bajas de este tipo polínico a finales de febrero, así como a principios de mayo (Fig. 4.119). En dicha gráfica, se observaron dos picos de 16 granos de polen/m<sup>3</sup> durante la segunda quincena de marzo. Las concentraciones máximas diarias del polen de *Platanus* se alcanzaron frecuentemente en la semana 11 pero se aprecia que es entre las semanas 10 y 13 cuando han tenido lugar las concentraciones más elevadas de este tipo polínico por lo que la semana 12 fue como la media obtenida para del conjunto de los años (Tabla 4.90).



**Figura 4.119.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En la gráfica de la distribución mensual de los distintos años (Fig. 4.120), se observa que los máximos registros se producen casi siempre en el mes de marzo. En este mes se contabilizó un porcentaje de 65% (año 2015) y el 93% (año 2014) del polen total anual. De hecho, se observa que los índices polínicos mensuales de marzo varían de un año a otro ya que se registró un máximo de 558 en el año 2013 y un mínimo de 141 en el año 1994. Los índices polínicos del mes de abril fueron menores ya que estos oscilaron entre los 11 (año 1994) y los 159 (año 2010).



**Figura 4.120.** Índices polínicos mensuales obtenidos en marzo y abril para el tipo polínico *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En las gráficas de los distintos años (Fig. 4.121), vemos un comportamiento muy estable en lo que se refiere a la distribución de las concentraciones medias diarias del polen de *Platanus*, con un periodo de polinación bien definido que se inicia al principio del mes de marzo y termina en el mes de abril. Cabe señalar que se observó un retraso del inicio de la estación polínica de *Platanus* en los años 1996, 2005, 2010, ya que comenzó en la segunda quincena del mes marzo, mientras que se observó un alargamiento de la estación polínica durante los años 2002, 2003, 2008 en los que terminó en la primera semana de mayo, mientras el año 2015 lo hizo en la segunda quincena de mayo. Durante los años 1992, 1994, 1995, 1998, 2004, 2009 se obtuvieron concentraciones medias diarias de este tipo polínico inferiores a lo promediados. Las concentraciones diarias máximas se detectan frecuentemente en el mes de marzo, con valores comprendidos entre los 18 y los 60 granos de polen/m<sup>3</sup> si bien que se obtuvo un pico máximo histórico de 67 granos de polen/m<sup>3</sup> en el año 2011.



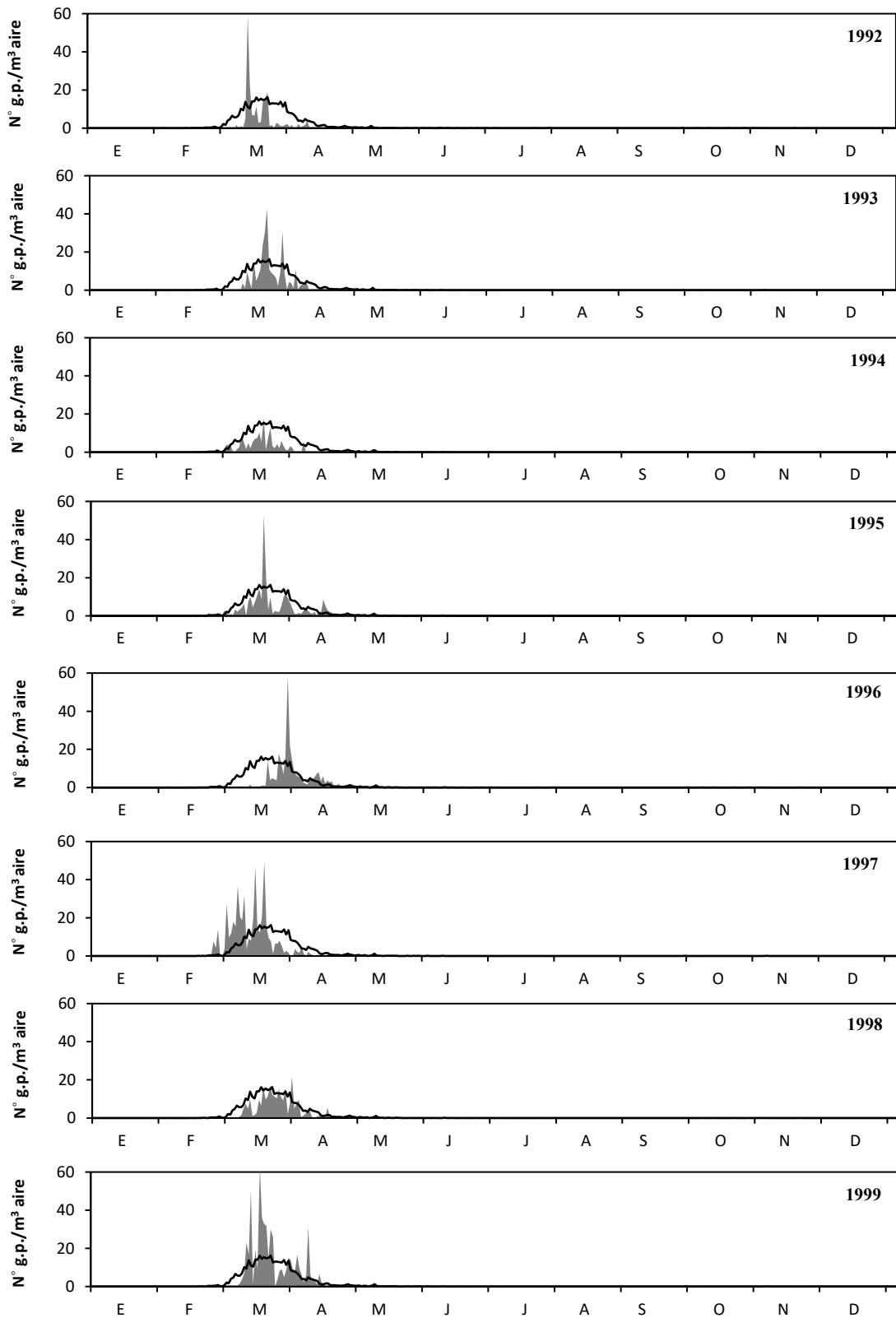
#### 4.3.9.6. Periodo de Polinación Principal

El periodo de polinación principal del polen de *Platanus* tuvo una duración promedio de 45 días con fechas promedio de inicio y final situadas en el 09 de marzo y el 21 de abril, respectivamente, durante el periodo 1992-2015. La duración del PPP muestra un patrón irregular en los distintos años, con una duración de 27 días (año 1993) como lo más corta, mientras la más larga fue de 67 días (año 2008). El índice polínico medio de la producción polínica de *Platanus* durante el PPP ha sido de 392, ya que la máxima producción polínica tuvo lugar en el año 2013, con un valor del índice polínico de 702, mientras que el valor mínimo para este parámetro fue de 152 durante el año 1994.

Con respecto al día pico, se ha calculado el 20 de marzo como fecha media en la que se produce, observándose que los días picos tuvieron lugar durante la segunda quincena del mes marzo durante el periodo estudiado, excepto en los años 2001, 2007, 2008 en que se produjo el día pico en la primera semana de este mismo mes. El valor del pico máximo ha fluctuado entre un máximo de 67 g.p./m<sup>3</sup> (año 2011) y un mínimo de 18 g.p./m<sup>3</sup> (año 1994) siendo de 45 g.p./m<sup>3</sup> como valor medio.

El periodo pre-pico del *Platanus* tiene una duración corta, con una media de 12 días a lo largo de los 24 años estudiados. Este periodo ha sido fluctuando entre un máximo de 22 días (año 2011) y un mínimo de 1 día (año 1992 y 2008), con un índice polínico medio de 135. Cabe señalar que se también se observó una duración de pre-pico muy corta en los años 2007 (2 días), 2003 y 2006 (5 días), 1999 (7 días), 2011 y 2012 (8 días), 1993 y 2001 (9 días).

En cuando al periodo post-pico, la duración ha sido relativamente más larga, con un promedio de 33 días, contabilizándose un índice polínico de 257. Durante los distintos años, la duración del periodo post-pico fue variable, oscilando entre los 17 y los 66 días y con índices polínicos que variaron entre los 65 en el año 1998 y 470 en el año 2013 (Tabla 4.91).



**Figura 4.121.** Concentraciones medias diarias de polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

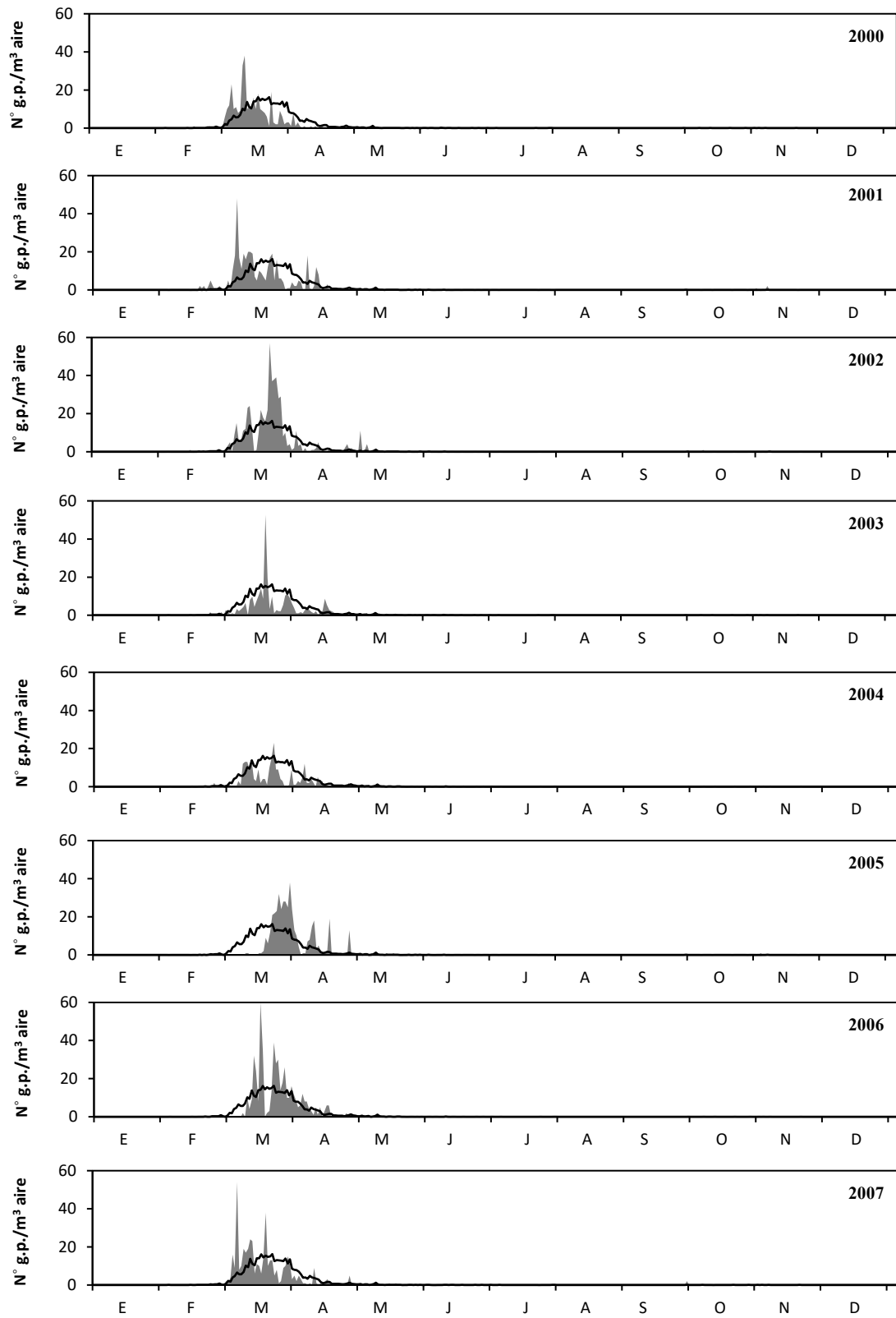


Figura 4.121. Continuación.

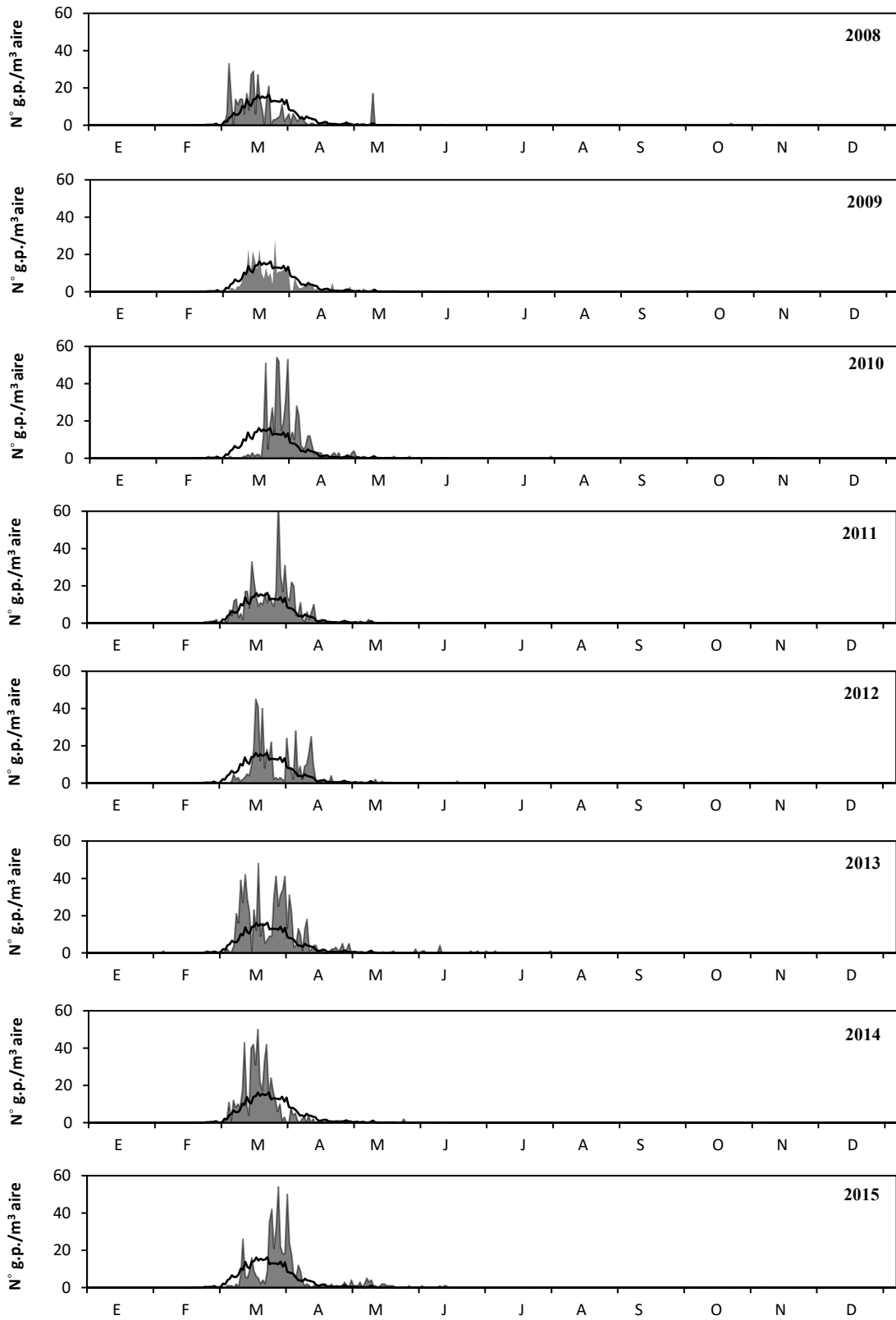


Figura 4.121. Continuación.

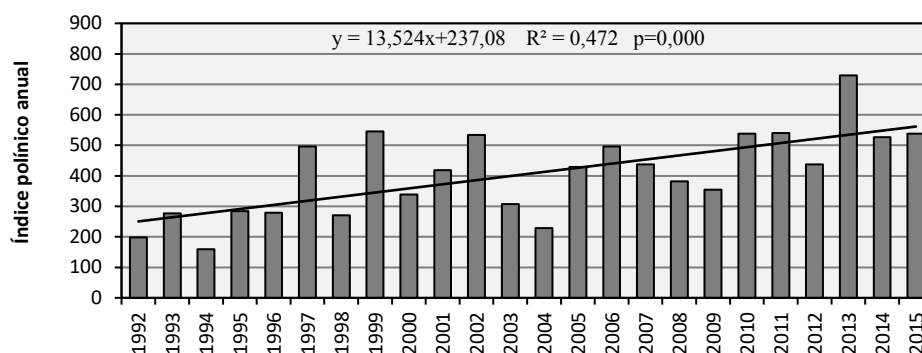
| Año       | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992      | 13-03 (72)/10-04 (100)  | 29       | 191           | 14-03 (73)      | 59                                     | 1        | 5             | 28        | 186           |
| 1993      | 12-03 (71)/07-04 (97)   | 27       | 264           | 21-03 (81)      | 43                                     | 9        | 107           | 18        | 157           |
| 1994      | 02-03 (61)/25-04 (115)  | 55       | 152           | 19-03 (79)      | 18                                     | 17       | 74            | 38        | 78            |
| 1995      | 01-03 (60)/19-04 (109)  | 50       | 272           | 19-03 (79)      | 53                                     | 18       | 89            | 32        | 183           |
| 1996      | 19-03 (78)/21-04 (111)  | 34       | 268           | 29-03 (89)      | 59                                     | 10       | 85            | 24        | 183           |
| 1997      | 26-02 (56)/05-04 (95)   | 41       | 475           | 19-03 (79)      | 49                                     | 22       | 347           | 19        | 128           |
| 1998      | 09-03 (68)/16-04 (106)  | 39       | 262           | 31-03 (91)      | 21                                     | 22       | 197           | 17        | 65            |
| 1999      | 10-03 (69)/12-04 (102)  | 34       | 526           | 17-03 (77)      | 63                                     | 7        | 127           | 27        | 399           |
| 2000      | 02-03 (61)/03-04 (93)   | 33       | 328           | 11-03 (71)      | 38                                     | 9        | 122           | 24        | 206           |
| 2001      | 23-02 (54)/12-04 (103)  | 50       | 404           | 06-03 (66)      | 48                                     | 12       | 46            | 38        | 358           |
| 2002      | 05-03 (65)/01-05 (122)  | 58       | 518           | 21-03 (81)      | 57                                     | 16       | 207           | 42        | 311           |
| 2003      | 11-03 (71)/08-05 (129)  | 60       | 300           | 16-03 (76)      | 29                                     | 5        | 44            | 55        | 256           |
| 2004      | 06-03 (66)/18-04 (109)  | 44       | 219           | 22-03 (82)      | 23                                     | 16       | 116           | 28        | 103           |
| 2005      | 19-03 (79)/26-04 (117)  | 39       | 419           | 30-03 (90)      | 38                                     | 11       | 230           | 28        | 189           |
| 2006      | 11-03 (71)/16-04 (107)  | 39       | 475           | 16-03 (76)      | 60                                     | 5        | 77            | 34        | 398           |
| 2007      | 04-03 (64)/16-04 (107)  | 44       | 419           | 06-03 (66)      | 54                                     | 2        | 25            | 42        | 394           |
| 2008      | 03-03 (63)/08-05 (129)  | 67       | 380           | 04-03 (64)      | 33                                     | 1        | 6             | 66        | 374           |
| 2009      | 07-03 (67)/26-04 (117)  | 51       | 339           | 24-03 (84)      | 28                                     | 17       | 188           | 34        | 151           |
| 2010      | 17-03 (77)/27-04 (118)  | 42       | 512           | 25-03 (85)      | 54                                     | 8        | 128           | 34        | 384           |
| 2011      | 05-03 (65)/12-04 (103)  | 39       | 523           | 27-03 (87)      | 67                                     | 22       | 267           | 17        | 256           |
| 2012      | 09-03 (69)/17-04 (108)  | 40       | 419           | 17-03 (77)      | 45                                     | 8        | 45            | 32        | 374           |
| 2013      | 08-03 (68)/28-04 (119)  | 52       | 702           | 18-03 (78)      | 48                                     | 10       | 232           | 42        | 470           |
| 2014      | 05-03 (64)/10-04 (100)  | 37       | 513           | 18-03 (77)      | 50                                     | 13       | 236           | 24        | 277           |
| 2015      | 11-03 (70)/13-05 (133)  | 64       | 520           | 28-03 (87)      | 54                                     | 17       | 235           | 47        | 285           |
| 1992-2015 | 09-03 (68)/21-04 (111)  | 45       | 392           | 20-03 (79)      | 45                                     | 12       | 135           | 33        | 257           |

Tabla 4.91. Indicadores del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).

## 4.3.9.7. Estudio de tendencias

## ▪ Índice polínico anual

En los 24 años estudiados, los índices polínicos anuales del *Platanus* muestran un incremento considerable en la atmósfera de Málaga. La tendencia al incremento fue significativa mediante la regresión lineal ( $R^2=0,472$ ,  $p=0,000$ ), lo que coincide con los resultados de la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=0,500$ ;  $p=0,00$ ) (Tabla 4.92). Por otra parte, la pendiente de *Sen* muestra que la dinámica positiva de los registros polínicos fue de una magnitud de 13,28 durante el periodo 1992-2015 (Fig. 4.122).



**Figura 4.122.** Evolución del índice polínico anual del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,500             | 0,000 | 13,28            |

**Tabla 4.92.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Platanus* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

▪ Niveles del polen de *Platanus*

El análisis de los niveles de las concentraciones de polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga según la categoría del grupo 4 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007), muestra que el nº de días con concentraciones nulas ( $<1$  g.p./m<sup>3</sup>) osciló entre los 297 (año 2015) y 339 días (año 1992) siendo la media de 319 días ( $\pm 10$ ), con un coeficiente de variación muy bajo, igual 3%. En cuando a la categoría moderado, cuyos niveles están comprendidos entre los 1-50 granos de polen/m<sup>3</sup>, obtuvo un promedio de 46 días. En este caso los números de días fue oscilando entre un mínimo de 26 días (año 1992) y un máximo de 67 días (año 2013 y 2015). Los días con concentraciones entre los 51-200 g.p./m<sup>3</sup> varían entre un máximo de 4 días (año 2007) y el mínimo de 0 días siendo la media fue sólo un día, lo que explica el valor alto del coeficiente de variación alto (164%) a lo largo de los 24 años de estudio. No hubo ningún día en las que las concentraciones superaran los 200 g.p./m<sup>3</sup> (Tabla 4.93).

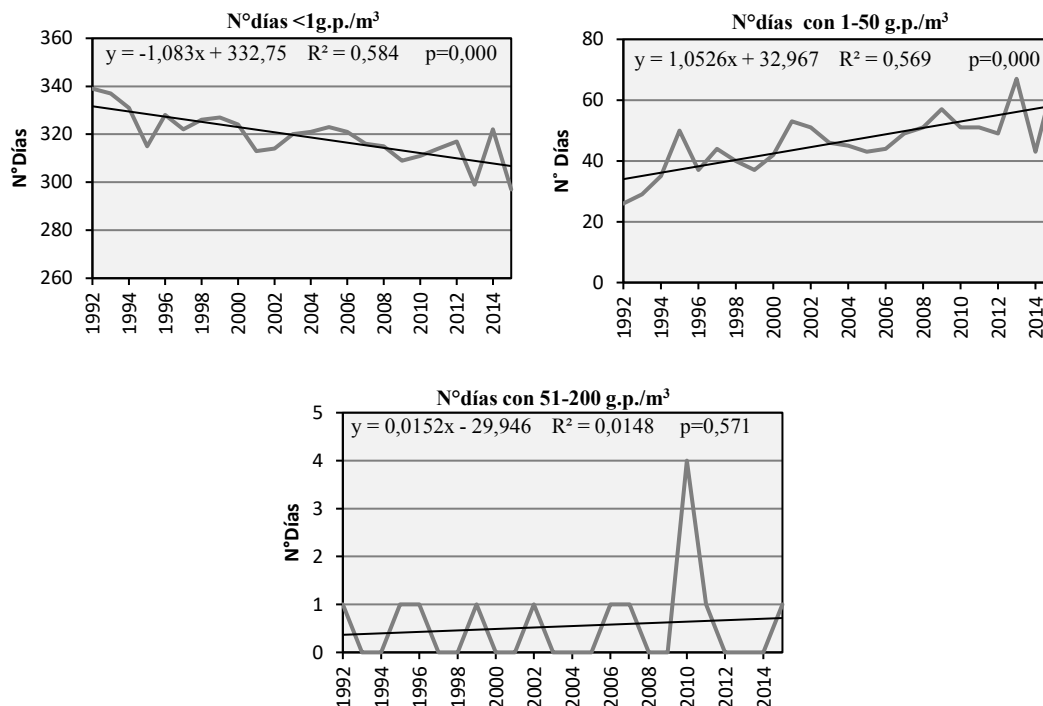
| Niveles                            | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|------------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | 297    | 339    | 319   | 10           | 3      |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 26     | 67     | 46    | 10           | 20     |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 4      | 1     | 0,9          | 164    |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 0      | 0     | 0            | -      |

**Tabla 4.93.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

El estudio de la dinámica de los días con los diferentes niveles de granos de polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga, mediante el test no paramétrico de *Mann-kendall*, muestra una tendencia negativa y significativa indicando hacia una disminución en el número de días sin granos de polen (<1 granos de polen/m<sup>3</sup>), con un valor de pendiente de *Sen* igual a -1,14. Por otra parte, se observó una tendencia significativa y positiva en lo que se refiere al número de días con niveles bajos (1-50 g.p./m<sup>3</sup>) Sin embargo, en el caso de los niveles moderados (51-200 g.p./m<sup>3</sup>), se observó un patrón irregular debido a la escasez de días con dicha categoría y, además grandes variaciones durante los distintos años, ya que sólo hubo un año con 4 días con concentraciones >50 g.p./m<sup>3</sup> (2010), mientras que en el resto, sólo se alcanza este nivel de manera muy esporádica. En cualquier caso, se observó una tendencia positiva (no significativa) (Fig. 4.123). Hay que indicar que no se pudo hacer la gráfica correspondiente a la evolución del número de días con concentraciones >200 g.p./m<sup>3</sup> debido a la ausencia de datos (Tabla 4.94).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | <i>Mann-Kendall</i> Test |             | <i>Pendiente de Sen</i> |
|------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|
|                                    | <i>Z</i>                 | <i>Sig.</i> | <i>Q</i>                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,577                   | <0,0001     | -1,14                   |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,558                    | 0,000       | 1,03                    |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 0,005                    | 1,000       | 0                       |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | -                        | -           | -                       |

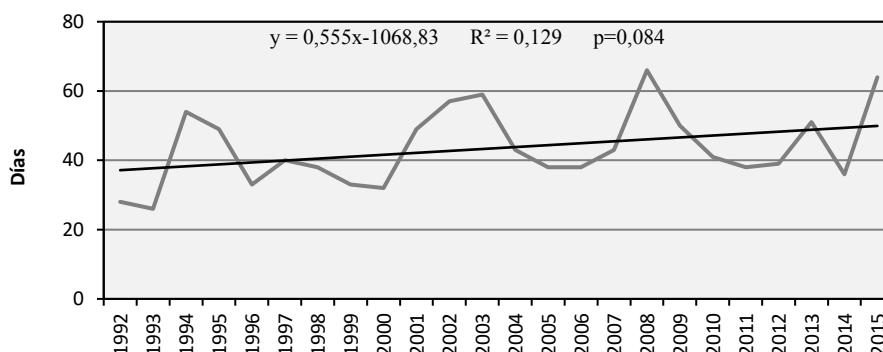
**Tabla 4.94.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Platanus*, en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.123.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

▪ **Parámetros del PPP**

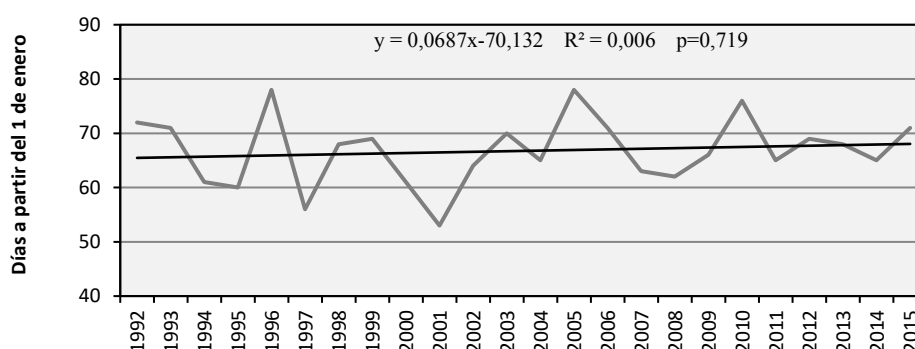
El comportamiento referente a la **duración del periodo de polinación principal** del polen de *Platanus* muestra un patrón irregular a lo largo de los 24 años de estudio, ya que se observaron periodos relativamente largos que superaron los 60 días (años 2003, 2008 y 2015) mientras otros muy cortos y no alcanzaron los 30 días (años 1992 y 1993). La duración media fue de 45 días ( $\pm 11$ ) (Fig. 4.119). Desde el punto de vista general, se observó una tendencia positiva pero estadísticamente no significativa ( $Z=0,239$ ;  $p=0,111$ ) indicando un alargamiento de la estación polínica de *Platanus* en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.124; Tabla 4.95).



**Figura 4.124.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

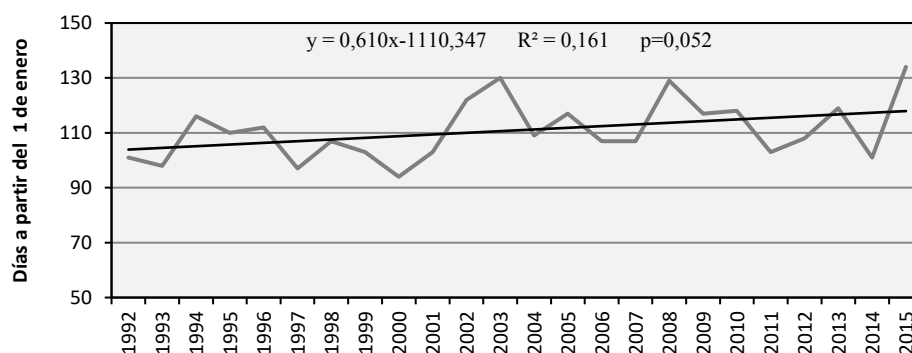


En cuando al **inicio de la estación polínica** de *Platanus*, se puede ver que existen variaciones durante los distintos años, registrándose la fecha 23-02 (año 2001) como la más temprana, mientras el día 19-03 fue la fecha más tardía, pero por lo general las fluctuaciones no fueron acusadas ( $Cv=9\%$ ). El comportamiento del inicio del PPP muestra una ligero tendencia al retraso, pero no es estadísticamente significativa ( $R^2=0,006$ ,  $Z=0,048$ ,  $p=0,765$ ). Por otra parte, los resultados de la pendiente de *Sen* indican que la dinámica del comienzo del PPP del polen *Platanus* mostró un valor de signo positivo igual a 0,09 (Fig. 4.125, Tabla 4.95).



**Figura 4.125.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

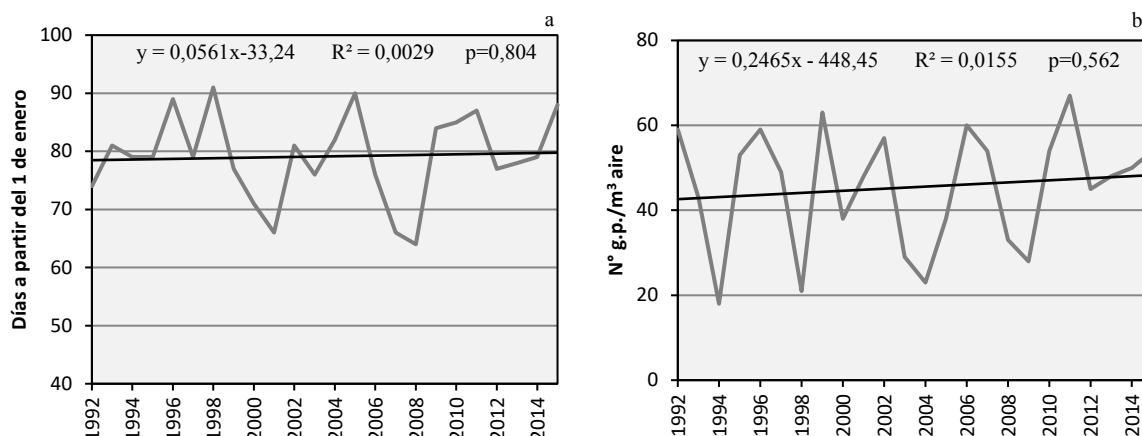
El análisis de regresión, así como el test de *Mann-Kendall* revelan que existe una tendencia al retraso (no significativa) del **final de la estación polínica** del tipo polínico *Platanus* ( $Z=0,257$ ,  $p=0,086$ ) (Fig. 4.126; Tabla 4.95). Las fechas del final de la estación fluctúan a lo largo de los 24 años estudiados ya que se observó que el día 03-04 fue la fecha más temprana mientras el día 13-05 fue como la fecha más tardía. En general, las variaciones no fueron muy acusadas, con un porcentaje de variación igual a 10%.



**Figura 4.126.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En lo que se refiere a los **valores picos** (Fig. 4.127), prácticamente no se observó tendencia, si acaso una muy ligera tendencia positiva pero no significativa ( $Z=0,059$ ;  $p=0,709$ ) al aumento de las concentraciones máximas del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga (Tabla 4.95), pero hay que señalar que existe una gran fluctuación entre las concentraciones medias diarias máximas, con un

porcentaje de variación de 30% durante el periodo estudiado. Lo mismo ocurre con las **fechas del día pico**, que apenas muestran tendencia o, si acaso, una ligerísima tendencia al retraso, si tenemos en cuenta el valor tan bajo del coeficiente de determinación ( $R^2=0,002$ ).



**Figura 4.127.** Evolución y tendencia de la fecha en el que se produce el día pico del *Platanus* (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | 0,048             | 0,765 | 0,09             |
| Final PPP    | 0,257             | 0,086 | 0,50             |
| Duración PPP | 0,239             | 0,111 | 0,54             |
| Día pico     | 0,059             | 0,709 | 0,11             |
| Valor pico   | 0,066             | 0,673 | 0,10             |

**Tabla 4.95.** Resumen de los resultados del test de *Mann-Kendall* y de la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.9.8. Análisis de correlaciones con los parámetros meteorológicos

El número de correlaciones significativas que aparecen entre las concentraciones del polen de *Platanus* y los parámetros meteorológicos fue muy bajo. Durante el PPP del periodo completo aparece coeficientes de correlación significativos y negativos con las precipitaciones, además de con la temperatura media y mínima. Por otra parte, se observó un coeficiente de correlación positivo y significativo con el viento del cuarto cuadrante. Con los demás parámetros no se apreció ninguna correlación significativa. A considerar el periodo pre-pico, se observa también que el número de las correlaciones fue bajo. De hecho, se obtuvieron coeficientes de correlación positivos y significativos con los parámetros indicadores de calor, entre ellos la temperatura máxima, media y también con las horas de sol, mientras se observó un patrón similar al del PPP completo en el caso de las precipitaciones, con una correlación significativa y negativa.

Con respecto al post-pico, se observa que la temperatura mínima mostró un coeficiente de correlación significativo y negativo. En lo que se refiere a los vientos, apareció sólo una correlación

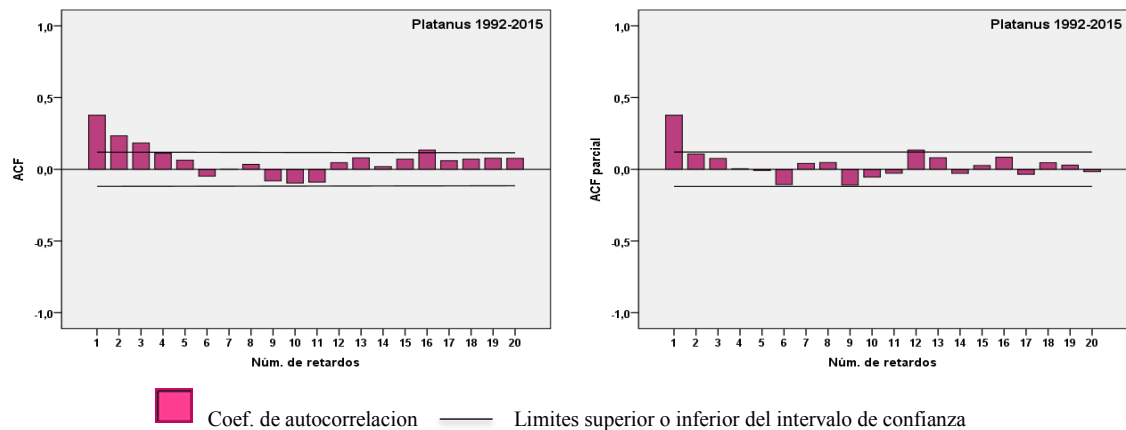
significativa y positiva con la frecuencia del cuarto cuadrante. Por otra parte, se observaron coeficientes de correlación significativos y negativos con la humedad relativa y la precipitación (Tabla 4.96).

|                          | PPP<br>N=1062 | Pre-pico<br>N=276 | Post-pico<br>N=786 |
|--------------------------|---------------|-------------------|--------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,117**      | -0,125*           | -0,131**           |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | 0,000         | 0,149*            | 0,044              |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | -0,075*       | 0,248***          | -0,025             |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | -0,141**      | 0,090             | -0,104**           |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,003        | -0,099            | -0,080*            |
| <b>Horas de Sol</b>      | -0,052        | 0,161**           | -0,029             |
| <b>V. med viento</b>     | -0,009        | -0,003            | 0,039              |
| <b>%Vto. 1°C.</b>        | 0,034         | 0,051             | 0,030              |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,011        | 0,008             | -0,033             |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | -0,037        | -0,006            | -0,012             |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,076*        | -0,066            | 0,102**            |
| <b>Calma</b>             | 0,026         | -0,039            | 0,006              |

**Tabla 4.96.** Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los períodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .

#### 4.3.9.9. Análisis de autocorrelaciones

Como se observó en la figura (4.128), los análisis de autocorrelaciones sobre la propia serie de datos muestran un número muy bajo de retardos, solo tres, entre ellos se presentó la concentración el día anterior con un mayor índice, que fue la que mostró un mayor grado de asociación con las concentraciones medias diarias. Al obtener los resultados de las autocorrelaciones parciales volvió a presentarse el día previo como el más significativo, mientras que los demás tuvieron menores coeficientes.



**Figura 4.128.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de las concentraciones medias diarias de polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.3.9.10. Modelos de pronóstico

Cuando se trata de explicar las concentraciones de polene de *Platanus* en función de los 12 parámetros meteorológicos considerados, la regresión múltiple por pasos ofrece dos modelos (Tabla 4.97). En el primer paso, se incluye la temperatura media como variable predictora, a la cual se añade la precipitación en el siguiente paso, dado lugar a un modelo que incluye conjuntamente la temperatura media y la precipitación. Este modelo indica el papel positivo de la temperatura media y negativo de las precipitaciones. Respecto a los ajustes del modelo, se observa que los coeficientes de determinación fueron bajos, a pesar de ser estadísticamente significativos.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos          | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|---|----------------|-------|
| 1a     | Plat=1,016 T <sup>a</sup> med-3,070               | 0,032          | 0,003 |
| 2a     | Plat= 0,889 T <sup>a</sup> med-0,309 precip-0,770 | 0,054          | 0,001 |

**Tabla 4.97.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Platanus* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).

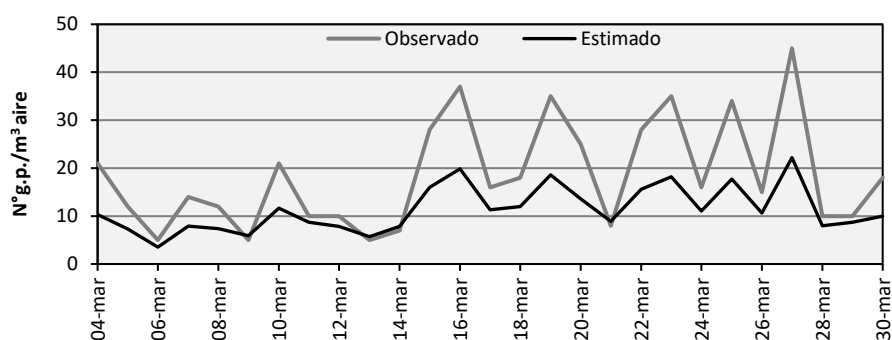
Sin embargo, cuando se incluye en el proceso de regresión múltiple por pasos, otras variables predictoras como la concentración polínica del día anterior y la D-media se obtuvieron cuatro modelos diferentes (Tabla 4.98), con lo que se consiguió mejorar los modelos con respecto a lo que utilizaban únicamente variables meteorológicas. De hecho, la concentración del día anterior  $Plt_{t-1}$  se incluye en el modelo en el primer paso y muestra un coeficiente de determinación de 0,184. A partir del segundo modelo se observa que los ajustes aumentan muy poco. Por último, se obtuvo un modelo de pronóstico (modelo 4b) cual incluye la concentración del día anterior, la precipitación y la D-media que alcanzó un R<sup>2</sup> de 0,229.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos                        | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|---|----------------|-------|
| 1b     | Plat=0,435 Plt <sub>t-1</sub> +7,138                            | 0,184          | 0,000 |
| 2b     | Plat=0,426 Plt <sub>t-1</sub> -0,305 precip + 7,674             | 0,203          | 0,000 |
| 3b     | Plat=0,394 Plt <sub>t-1</sub> -0,306 precip + 0,310 Dmed+ 4,738 | 0,218          | 0,000 |
| 4b     | Plat=0,384 Plt <sub>t-1</sub> -0,270 precip + 0,306 Dmed+ 0,692 | 0,229          | 0,000 |

**Tabla 4.98.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Platanus* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1992-2015).

#### Validación del mejor modelo

Para la validación del modelo que presenta el mejor valor de coeficiente de determinación obtenido del análisis realizado en el apartado anterior, se realizan dos pruebas estadísticas comparando los datos observados y estimados para el año 2016. Asimismo, el resultado de la prueba de *Spearman* muestra la ausencia de correlación significativa entre ambos datos ( $r=0,287$ ;  $p=0,146$ ), esto se cordina con el análisis de *Wilcoxon* que confirma que existe una diferencia significativa entre los valores reales y estimados de las concentraciones medias diarias del polen de *Platanus* obtenidas durante el pre-pico para el año 2016 (Fig. 4.129; Tabla 4.99).



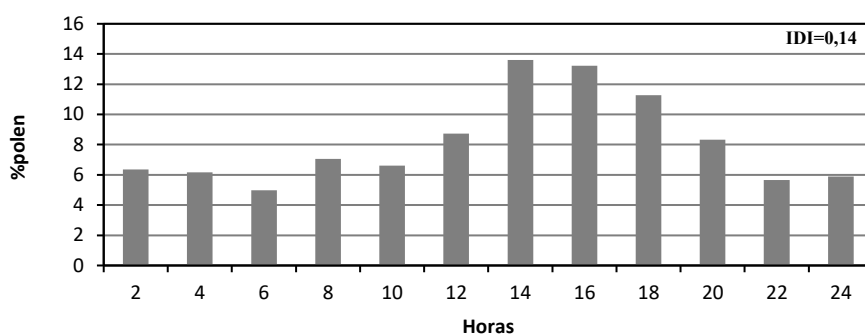
**Figura 4.129.** Concentraciones medias diarias del polen de *Platanus* durante el periodo prepico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 4b de las ecuaciones de regresión.

|   | <i>Spearman Test</i> |       | <i>Wilcoxon Test</i> |         |        |       |
|---|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|   | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 4b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,287                | 0,146 | 9                    | 18      | -2,526 | 0,012 |

**Tabla 4.99.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido de las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.9.11. Variación intradiaria

El comportamiento intradiario promedio de polen de *Platanus* durante el periodo estudiado indica que el este tipo polínico presentó un aumento de los niveles a partir de las 12:00, alcanzando los picos máximos en torno de las 12:00-16:00 horas con 13% de la concentración diaria. Posteriormente, los niveles descendieron en las horas de la tarde. El valor promedio del índice de distribución intradiaria presentó un valor igual a  $0,14 \pm 0,05$  (Fig. 4.130).



**Figura 4.130.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Durante los 24 años, el polen de *Platanus* mostró curvas de variación intradiaria diferentes de un año a otro (Fig. 4.131). De hecho, se observó un aumento de los niveles en las primeras horas de la mañana, entre las 6:00-8:00 horas, durante los años 1996, 2004, 2005 y 2008 mientras que en los años 1993, 2007 y 2013 aparecieron picos en las horas de la tarde, sobre las 18:00 horas. Los valores del IDI para el polen de *Platanus* varían entre 0,07 (2008) y 0,24 (año 1992). El pico máximo, registrado a las 16:00 horas, fue del 25,66% del polen diario (año 1992). Cabe mencionar que en el año 1995, se observó un patrón con niveles de distribución intradiaria muy inferior a la curva de la distribución promediada para el conjunto de los años, con un pico máximo de 9% del polen diario.

#### 4.3.9.12. Discusión

El *Platanus* o plátano de sombra es un árbol caducifolio y robusto que se encuentra frecuentemente en parques, calles, paseos, avenidas, estando ampliamente distribuido en ciudades europeas de países como Francia, Bélgica, Italia, Portugal y Suiza (Miranda, 2002) y siendo también muy común en muchas ciudades españolas. Otra de las particularidades que presenta este taxón, es el modo en el que tiene lugar la polinización, dando lugar a grandes concentraciones de polen en la atmósfera, de manera explosiva y en un intervalo de tiempo relativamente corto. De hecho, en los últimos años se ha mostrado un interés a estudiar el comportamiento del polen de *Platanus* en el aire, debido al incremento de los casos con síntomas de alergias a este polen (Alcázar *et al.*, 2004; Iglesias *et al.*, 2007; D'Amato *et al.*, 2007; Recio *et al.*, 2008; Sánchez-Reyes *et al.*, 2009).

Durante el periodo estudiado, el polen de *Platanus* representó un 1,20% del espectro polínico total, con un índice polínico promedio de 406 en la atmósfera de Málaga.

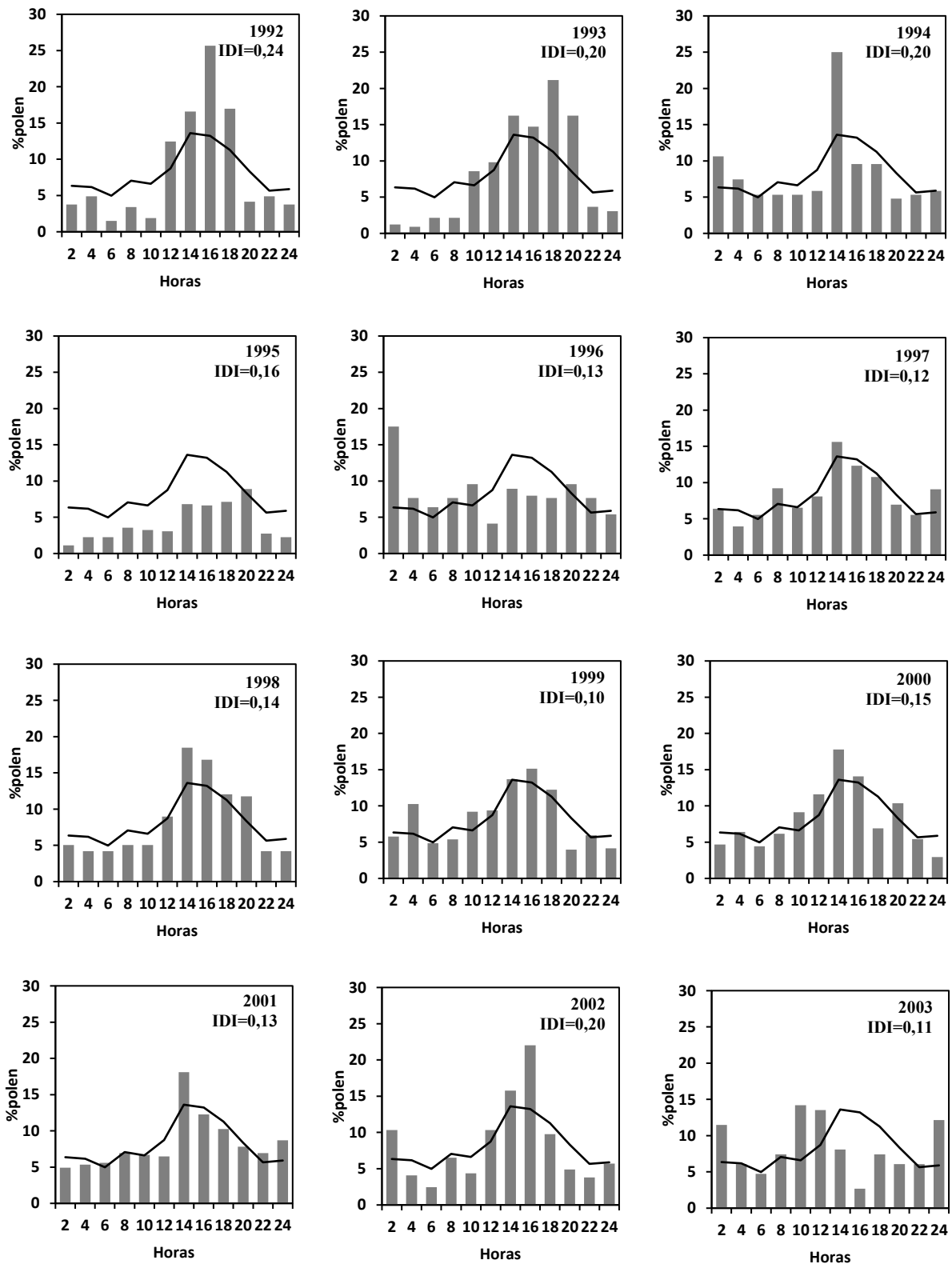


Figura 4.131. Variación intradiaria del polen de *Platanus* para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

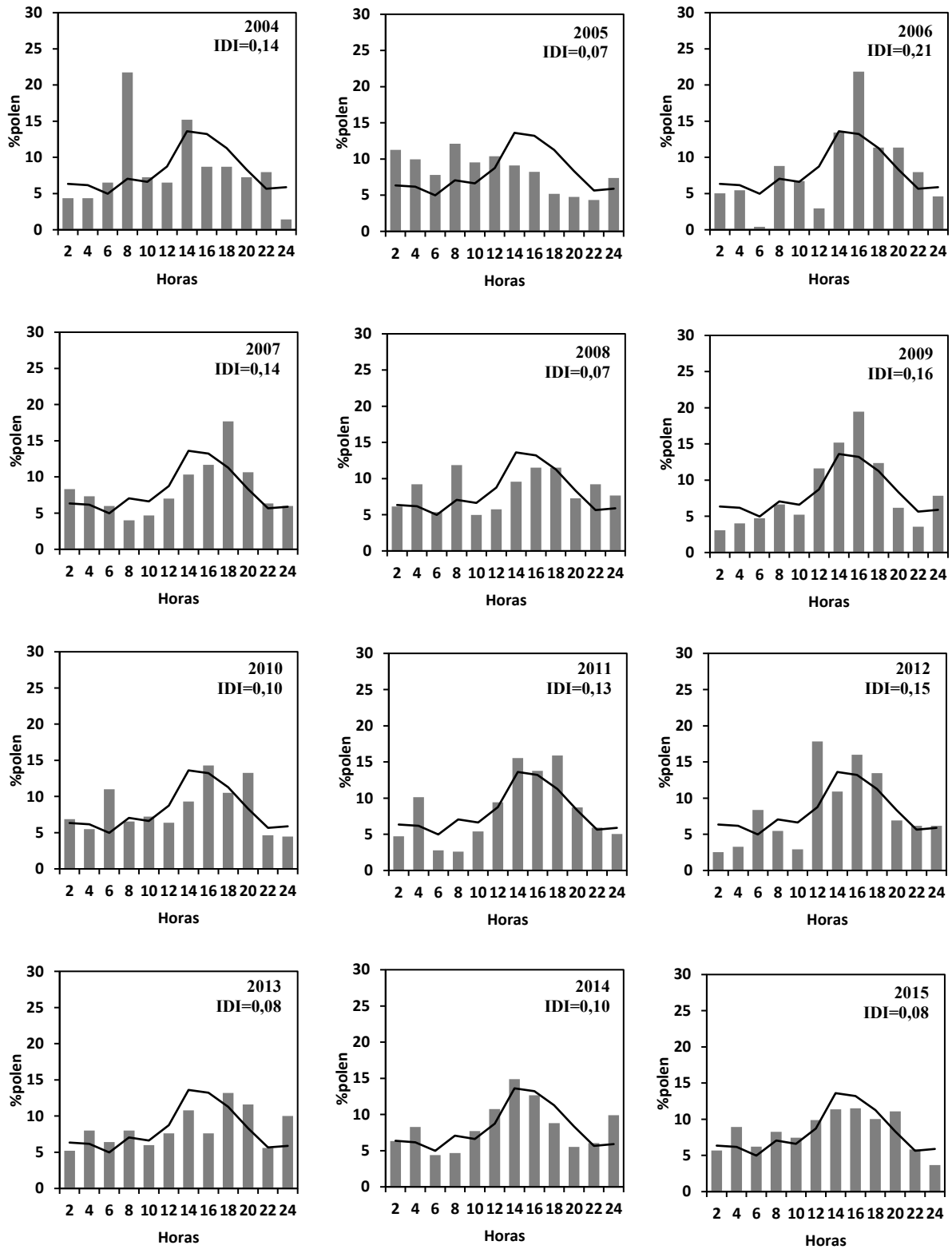


Figura 4.131. Continuación.



Varios trabajos realizados en otras localidades de la Península Iberia pusieron de manifiesto que existen diferencias en cuanto a la presencia de este tipo polínico en la atmósfera de las distintas localidades estudiadas.

Así, los mayores registros se corresponden con ciudades como Sevilla (Candau *et al.*, 2002), Madrid (Gutiérrez Bustillo *et al.*, 2002), Barcelona (Belmonte *et al.*, 2002a), Córdoba (Alcázar *et al.*, 2002), Zaragoza (Bermejo & García, 2002) mientras los menores se detectaron en Málaga (Recio, 1995), Motril (Nieto-Lugilde Lugilde, 2008), Valencia (Tortajada & Mateu, 2002), Santiago de Compostela (Dopazo *et al.*, 2002), Huelva (González Minero *et al.*, 2002) y Salamanca (Rodríguez de la cruz *et al.*, 2010). Probablemente estas diferencias estén relacionadas con la densidad de estos árboles y la distancia existente entre los captadores de polen y las fuentes de producción.

Durante el periodo estudiado, se observó una tendencia positiva y significativa al incremento de los índices polínicos anuales de *Platanus* en Málaga (Fig. 4.122), lo que coincide con lo observado en otras provincias andaluzas y también en toda la Península Ibérica (Alcázar *et al.*, 2011; Galán *et al.*, 2016). El aumento de los registros polínicos de *Platanus* puede ser, probablemente, debido a la plantación de más árboles de esta especie que están utilizados para el uso ornamental de la ciudad durante los últimos años, o también debido a la menor incidencia de las podas masivas que se realizaban años atrás, tan criticadas por diferentes colectivos.

En lo que se refiere a la dinámica de la estación polínica, se observó una ligera tendencia al retraso en el comienzo del PPP del polen de *Platanus* en la atmósfera de Málaga capital (Fig. 4.125). Resultados similares han sido reportados en otras localidades de España (Alcázar *et al.*, 2011), mientras que en Italia se observó un avance en el inicio de la estación polínica de *Platanus* (Tedeschini *et al.*, 2006). En su trabajo, Alcázar *et al.* (2011) indicaron que la temperatura en los meses enero y febrero influye sobre el inicio de la estación polínica de *Platanus* y sugieren que el patrón de retraso observado en las provincias andaluzas viene explicado por la tendencia de bajada de las temperaturas en los meses previos a la floración. En el mismo sentido, Alba & Díaz de la Guardia (1998) manifiestan que los episodios de floración más tempranas han tenido lugar en años en los que las temperaturas, justo antes de la floración, eran más altas. Aunque en los últimos años, se ha notado un incremento significativo de las temperaturas en la mayor parte de la Península Ibérica, al igual que ocurrió en Málaga durante el periodo 1992-2015, es posible encontrar periodos con anomalías térmicas tal como se observó en nuestra área de estudio durante los meses de enero y febrero de los años 2005, 2006, 2012 y 2015 (Aemet, 2015), resultando en un inicio más tardío del periodo de polinación. Por otro lado, aunque muy ligero, se observó un retraso del final del PPP de este tipo polínico dando lugar a un alargamiento de la duración de dicho periodo. Andersen (1991) informó que la duración del PPP depende de las variables meteorológicas registradas durante la estación polínica. Además, González Minero *et al.* (1997) explicaron que existe una relación entre la duración del PPP, la temperatura y la precipitación, es decir, cuando la polinización comienza las altas temperaturas y la falta de precipitaciones tienden a acortar esta duración, mientras que si las temperaturas son bajas y existe ciertas cantidades de precipitaciones, el PPP se alarga. Además, si nos fijamos tanto en la fecha del día pico como en las concentraciones máximas del polen de *Platanus* registradas, podemos ver que existían variaciones de un año a otro que podrían estar causadas por las variaciones meteorológicas anuales (Fig. 4.127). Hay que destacar que el periodo de pre-pico de este tipo polínico fue muy corto, con una media de 12 días. Este comportamiento fue observado en los distintos años, aunque destacan especialmente los años 1992 (1 días), 2007 (2 días) y 2008 (1 días)

cuando se alcanzó el pico máximo en el día siguiente o después de 2 días del comienzo del PPP (Tabla 4.90). En un estudio llevado a cabo Córdoba (Alcázar *et al.*, 2004; Díaz de la Guardia *et al.*, 1999) se observó que las concentraciones máximas diarias se alcanzaron en un tiempo muy corto llegando a una semana desde el inicio de la estación de polen, siendo la polinización rápida y breve del *Platanus* una característica de este taxón. Algunos autores manifiestan que la temperatura máxima tiene un papel importante en la apertura de las anteras y la liberación explosiva del polen en las regiones templadas (Fernández González *et al.*, 1999; García Mozo *et al.*, 2009).

Las correlaciones de las concentraciones polínicas de *Platanus* y los parámetros meteorológicos mostraron pocos valores significativos lo largo del estudio. Esto coincide con otros estudios llevados a cabo en Granada (Nieto-Lugilde, 2008) y Almería (Carriñanos *et al.*, 2004b). Pero cabe destacar el efecto positivo de la temperatura media y máxima, así como las horas de sol durante el pre-pico. Este comportamiento ha sido explicado por Recio (1995) en un estudio previo llevado a cabo en Málaga, observándose que la temperatura y las horas de sol son los parámetros meteorológicos que mejor explican el comportamiento estacional de este tipo polínico. Por otra parte, durante el periodo post-pico podemos destacar los coeficientes de correlación significativos y positivos obtenido entre las concentraciones polínicas y la frecuencia del viento del cuarto cuadrante, proveniente de las zonas interiores. Además, cabe destacar las correlaciones significativas y negativas obtenidas con las precipitaciones y la humedad relativa, ya que las primeras ejercen un efecto de lavado atmosférico mientras que la humedad relativa dificulta la dispersión de las partículas aerovagantes.

El comportamiento intradiaria del polen de *Platanus* se caracterizó por presentar un patrón poco estable, además de índices de distribución intradiaria que fluctuaron de un año a otro, razón por la cual no se pudo determinar un comportamiento claro, aunque en un trabajo llevado a cabo durante el periodo 1992-1995, en esta misma localidad, (Trigo *et al.*, 1997) establecieron un modelo de comportamiento intradiurno para el polen de *Platanus* con un incremento de las concentraciones en torno de 16:00-18:00 horas. Un comportamiento similar al patrón promedio observado en Málaga durante el periodo estudiado ha sido observado en otras localidades como Salamanca y Valladolid (Sánchez-Reyes *et al.*, 2009), Ourense (Iglesias *et al.*, 2007), Santiago de Compostela (Jato *et al.*, 2001b), La Plata en Argentina (Nitiu & Mallo, 2002) y en Londres (Norris-Hill & Emberlin, 1991) con una mayor representación de los niveles de este polen en las horas centrales del día.

Los modelos obtenidos del análisis de regresión múltiple por pasos, consiguieron explicar un escaso porcentaje de la variabilidad de las concentraciones polínicas de *Platanus* cuando se utilizaron solamente parámetros meteorológicos como variables predictivas, ya que se obtuvieron valores muy bajos del coeficiente de determinación. La temperatura media y la precipitación fueron seleccionados como mejores variables meteorológicas predictivas, la primera con signo positivo y con signo negativo la segunda. Sin embargo, cuando se incluye la concentración del día anterior y la D-media, ambas variables con signo positivo, los valores alcanzados por coeficientes se incrementan sensiblemente (Tabla 4.98).

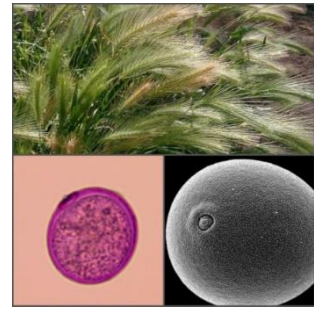
Al intentar validar el modelo con los datos obtenidos en 2016, tanto el test de *Spearman* como el de *Wilcoxon* han indicado que hay diferencias significativas entre las series de datos esperados y observados utilizando en el mejor modelo predictivo obtenido, lo que nos lleva a concluir que no se puede aceptar dicho para predecir las concentraciones medias diarias del polen de *Platanus* durante el periodo pre-pico.

En el estudio de tendencia por niveles, aparece una disminución significativa del número de días sin granos de polen de *Platanus*. Además, se observó un aumento significativo de los días con concentraciones medias diarias comprendidas entre 1 y 50 granos de polen/m<sup>3</sup>, lo que coincide con la tendencia al incremento de los índices polínicos anuales observada. Esto podría ser relevante para las personas alérgicas, pues Alcázar *et al.* (2004) señalan que la mayoría de los pacientes manifiestan que los síntomas comienzan normalmente a los pocos días de que las concentraciones de polen de *Platanus* alcanzan los 50 granos de polen/m<sup>3</sup> de aire, aunque en nuestro caso fue muy poco frecuente de observar días con niveles moderados.

El polen de *Platanus* ha sido considerado como una importante causa de polinosis ya que, según el Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología (Galán *et al.*, 2007), este tipo polínico pertenece al grupo 4 en el que se incluye especies arbóreas con alta producción polínica además con alta alergenicidad como *Olea*, *Cupressus*, *Quercus*, *Pinus*. En el Mediterráneo, la prevalencia de sensibilización a este tipo polínico fluctúa entre el 3% y el 50% (Subiza, 2001; Astrurias *et al.*, 2002, Fernández-González *et al.*, 2009, 2010). En España, en un estudio realizado en Madrid (Subiza *et al.*, 1994), se vio que el porcentaje de reacciones positivas en pruebas cutáneas se incrementó hasta 56% a lo largo de los 15 años. En Málaga, el 10% de los pacientes atópicos sometidos a pruebas in vivo (prick test) resultaron positivos (Burgos, 1991). El elevado número de pacientes polisensibilizados sugiere que esto es debido a la reactividad cruzada entre *Platanus* y otros pólenes como de *Poaceae*, *Olea*, *Parietaria* y *Artemisia* (Millares *et al.*, 2002; Alcázar *et al.*, 2004).

### 4.3.10. Tipo polínico Poaceae

Poaceae constituye una familia muy extensa de hierbas, anuales o perennes, que comprende alrededor de 10.000 especies, de las cuales 195 han sido citadas en Málaga (Cabezudo *et al.*, 1990) donde se encuentra ampliamente distribuida, formando parte de la vegetación natural que crecen de forma espontánea alrededor de la ciudad. También forman parte de esta familia un importante grupo de plantas cultivadas para la alimentación humana como los cereales entre ellos el trigo, la cebada, la avena, el arroz y el maíz. Las especies más representativas son *Avena Sterilis* L., *Brachypodium retusum* (Pers.) Beauv., *Dactylis glomerata* L., *Lolium rigidum* Gaudin, *Lolium perenne* L., *Setaria verticillata* (L) Beauv., *Cynodon dactylon* L., *Piptaterum miliaceum* (L.) Cosson, *Lamarckia aurea* (L.) Moench, *Stipa tenecissima* L., *Arundo donax* L., *Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf, etc.



#### 4.3.10.1. Descripción botánica

Se trata de plantas herbáceas, anuales o perennes, con tallos erectos, cilíndricos y huecos. Hojas alternas, más o menos lineares y estrechas. Flores generalmente hermafroditas, reunidas en inflorescencias parciales denominadas espiguillas, formadas por una o más flores. Las flores están muy modificadas, con el periantio ausente o formando por dos o tres escamas pequeñas. Androceo con uno a tres estambres, con filamentos largos y delgados y anteras versátiles. Ovario súpero rematado por tres estigmas plumosos. El fruto es de tipo cariópseide.

#### 4.3.10.2. Época de floración/polinización

Florecen prácticamente durante todo el año debido al gran número de especies de gramíneas que existe, pero alcanzando su máximo en la primavera. La polinización es de tipo anemófila.

#### 4.3.10.3. Morfología polínica

Polen monanaporado, es decir, con una sola abertura de tipo poro dispuesta en el polo distal. El poro presenta un opérculo y está rodeado por un anillo. Heteropolar y radiosimétrico, circular en vista polar y de circular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. De tamaño pequeño a mediano entre 25 y 40  $\mu\text{m}$ , pero las especies cultivadas tienen un tamaño mayor, llegando incluso hasta los 100  $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.10.4. Variación interanual

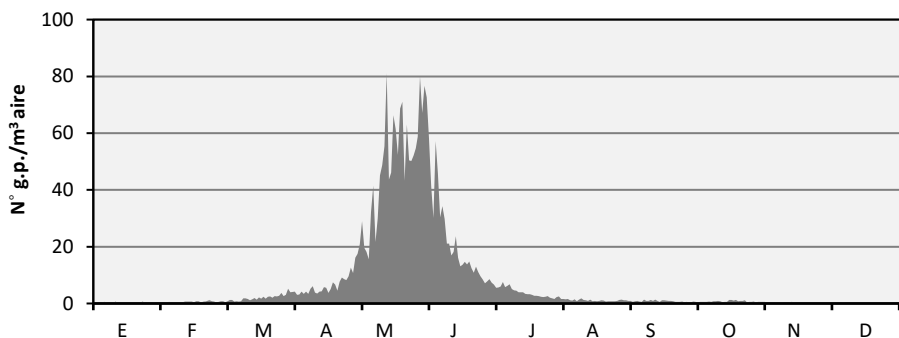
El polen de Poaceae ocupó la cuarta posición en orden de abundancia, en la atmósfera de Málaga, con una contribución de 7,79% al espectro polínico total durante los años estudiados. El índice polínico anual de Gramíneas ha sido de 2.639 como promedio de los 24 años. Analizando el comportamiento de este polen, se observa que existen fluctuaciones importantes de un año a otros registrando un máximo del IPA 5.262 en 2003 y un mínimo de 906 en 1995 (Tabla 4.100).

| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 1.248 | 5,64    | 19          |
| 1993  | 1.595 | 5,24    | 22          |
| 1994  | 2.096 | 7,69    | 19          |
| 1995  | 906   | 4,42    | 20          |
| 1996  | 4.273 | 10,00   | 22          |
| 1997  | 3.003 | 4,57    | 19          |
| 1998  | 3.046 | 8,90    | 20          |
| 1999  | 1.565 | 3,42    | 20          |
| 2000  | 2.426 | 7,45    | 22          |
| 2001  | 2.910 | 6,64    | 23          |
| 2002  | 4.489 | 14,38   | 21          |
| 2003  | 5.262 | 13,28   | 20          |
| 2004  | 3.347 | 13,29   | 22          |
| 2005  | 1.093 | 2,55    | 19          |
| 2006  | 2.413 | 8,91    | 21          |
| 2007  | 4.575 | 9,86    | 19          |
| 2008  | 2.429 | 7,57    | 20          |
| 2009  | 2.099 | 5,06    | 20          |
| 2010  | 3.934 | 9,68    | 22          |
| 2011  | 1.531 | 5,51    | 18          |
| 2012  | 1.313 | 4,46    | 21          |
| 2013  | 4.589 | 11,04   | 21          |
| 2014  | 1.999 | 4,88    | 19          |
| 2015  | 1.194 | 3,94    | 20          |
| Media | 2.639 | 7,79    | 20          |

**Tabla 4.100.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

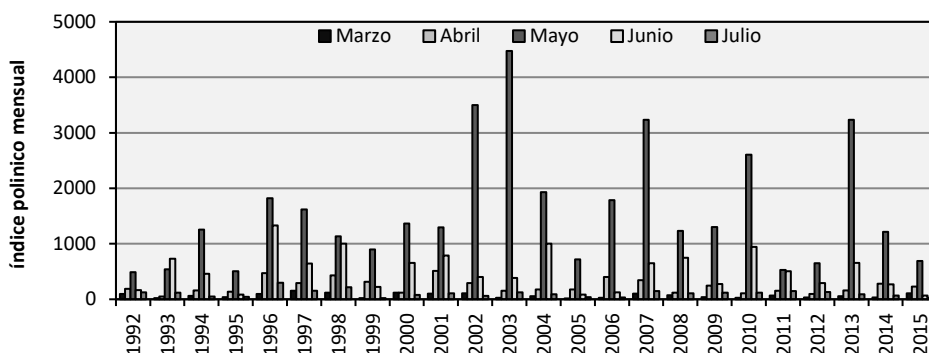
#### 4.3.10.5. Variación estacional

Durante el periodo estudiado, se observó que la estación polínica de Poaceae comienza en marzo y finaliza en julio, aunque se puede ver también que existen concentraciones bajas durante el invierno (mes febrero) y el verano (meses de agosto, septiembre) hasta principio de otoño. Por otra parte, se observa que los máximos niveles de este tipo polínico se detectan entre la semana 18 (año 2011) y la 23 (año 2001), pero con valores máximos situados más frecuentemente entre las semanas 19 y 20 (Tabla 4.100). Cuando se analizan los promedios de las concentraciones medias diarias durante todo el periodo, se puede observar que aparecen varios picos de diferentes intensidades, pero con dos picos máximos de similar intensidad, de 80 granos de polen/m<sup>3</sup> detectados durante la primera y la última semana del mes de mayo (Fig. 4.132)



**Figura 4.132.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Como se verá en la figura (4.133), la concentración del polen de Poaceae se va incrementando paulatinamente durante los meses de marzo y abril, alcanzando las cantidades máximas en el mes de mayo con un índice promedio mensual de 1.584. Así, en los años 2003, 2002, 2013, 2007 y 2010 se registraron los índices mensuales máximos con valores de 4.476, 3.499, 3.233, 3.232 y 2.605, respectivamente, mientras que los valores más bajos registrados para dicho mes fueron de 506 (año 1995) y 528 (año 2011), los niveles decrecen a partir del mes de junio, que registra un valor promedio mensual igual a 520, hasta alcanzar valores muy bajos durante el mes de julio con un promedio mensual de 104.



**Figura 4.133.** Índices polínicos mensuales obtenidos en marzo, abril, mayo, junio y julio para el tipo polínico Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

A continuación, describimos cómo ha sido el comportamiento aerobiológico anual de Poaceae en la atmósfera de Málaga, analizando la distribución de las concentraciones medias diarias de cada año. Observamos que en el periodo estudiado, este polen presentó un patrón similar, de un gran estacionalidad, con un periodo de polinación bien definido que abarca los meses de mayo y junio, en el que se alcanzaron las concentraciones más elevadas. Los valores picos se detectan casi siempre en el mes de mayo con pico máximo diario histórico de 815 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2003). Cabe destacar que sólo en los años 1993, 1996 y 2001 se obtuvieron picos máximos a principios del mes de junio, mientras que los años 1992, 1995, 2005, 2011 y 2012 presentaron concentraciones diarias muy bajas

con picos de diferentes intensidad que apenas llegaron a 95 granos de polen/m<sup>3</sup>, mostrando un patrón de niveles inferiores a la media (Fig. 4.134).

#### 4.3.10.6. Periodo de Polinación Principal

Analizando el comportamiento de polen de Poaceae a lo largo de los 24 años de estudio, se observa que el periodo de polinación principal fue muy prolongado caracterizado por una duración de 159 días de media durante el que se detectó un IPA promedio de 2.511, mostrando fechas promedio de inicio en marzo (el día 20-03) y final en agosto (el día 27-08). Excepcionalmente, el comienzo de la estación se inició de forma más temprano en enero (año 1995) y febrero (1992 y 2015), mientras que el final en ocasiones fue más tarde, prolongándose hasta el mes de septiembre (1993, 1994, 1995, 1997, 1998, 1999, 2005, 2009) y también hasta el mes octubre (año 1992, 2011, 2012, 2014).

La duración del PPP ha sido fluctuando entre un mínimo de 85 días (año 2003) y un máximo de 269 días (año 1992), registrando un IPA que varía entre 863 (1995) y 5.009 (2003) con un promedio de 2.511. Cabe destacar que la máxima producción polínica durante el PPP tuvo una duración relativamente corta en el tiempo, siendo el PPP del año 2003 corto pero muy intenso. Existen, además, fluctuaciones importantes de un año a otro.

Con respecto al día pico, se ha calculado el 19 de mayo como fecha promedio, con un valor medio de 239 granos de polen/m<sup>3</sup> de media diaria. Es de destacar, si bien los días picos se mantuvieron durante la primera o la segunda quincena del mes de mayo para el conjunto de los años (1992-2015), en los años 1993, 1996, 2001 dicho día pico se produjo en la primera semana de junio. El valor del pico máximo ha fluctuado entre un mínimo de 58 g.p./m<sup>3</sup> (año 2005) y un máximo de 815 g.p./m<sup>3</sup> (año 2003).

Los periodos pre-pico de las gramíneas tuvieron una duración promedio de 59 días, oscilando entre un mínimo de 24 días (2003) y un máximo de 115 días (año 1995), registrando un valor medio de producción polínica de 1.026. Por el contrario, los periodos post-pico han sido más largos, con un promedio de 100 días, fluctuando entre un mínimo de 49 días (2002) y un máximo de 170 días (1992), mostrando un promedio de total polínico de 1.485 (Tabla 4.101).

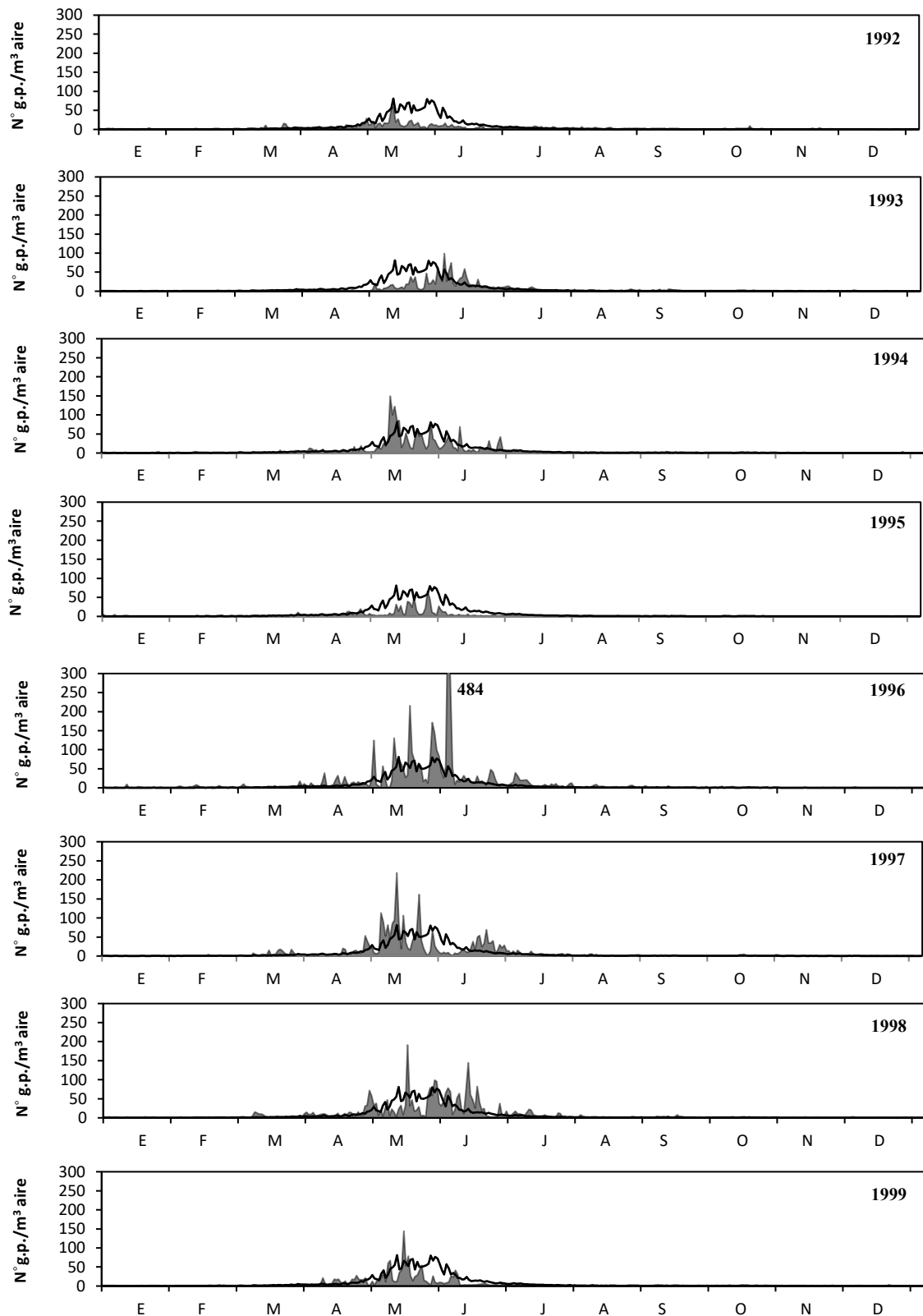


Figura 4.134. Concentraciones medias diarias del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).



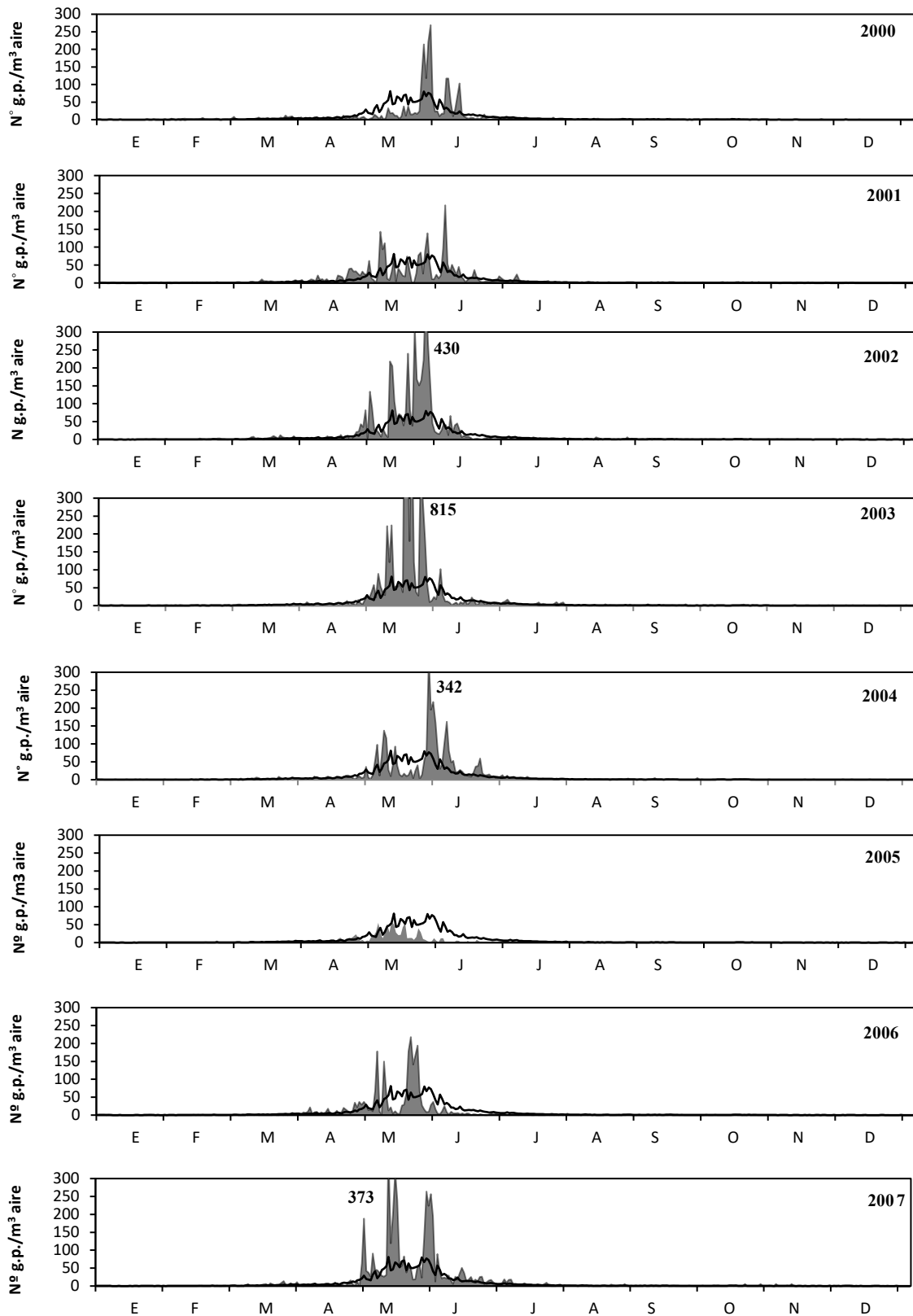


Figura 4.134. Continuación.

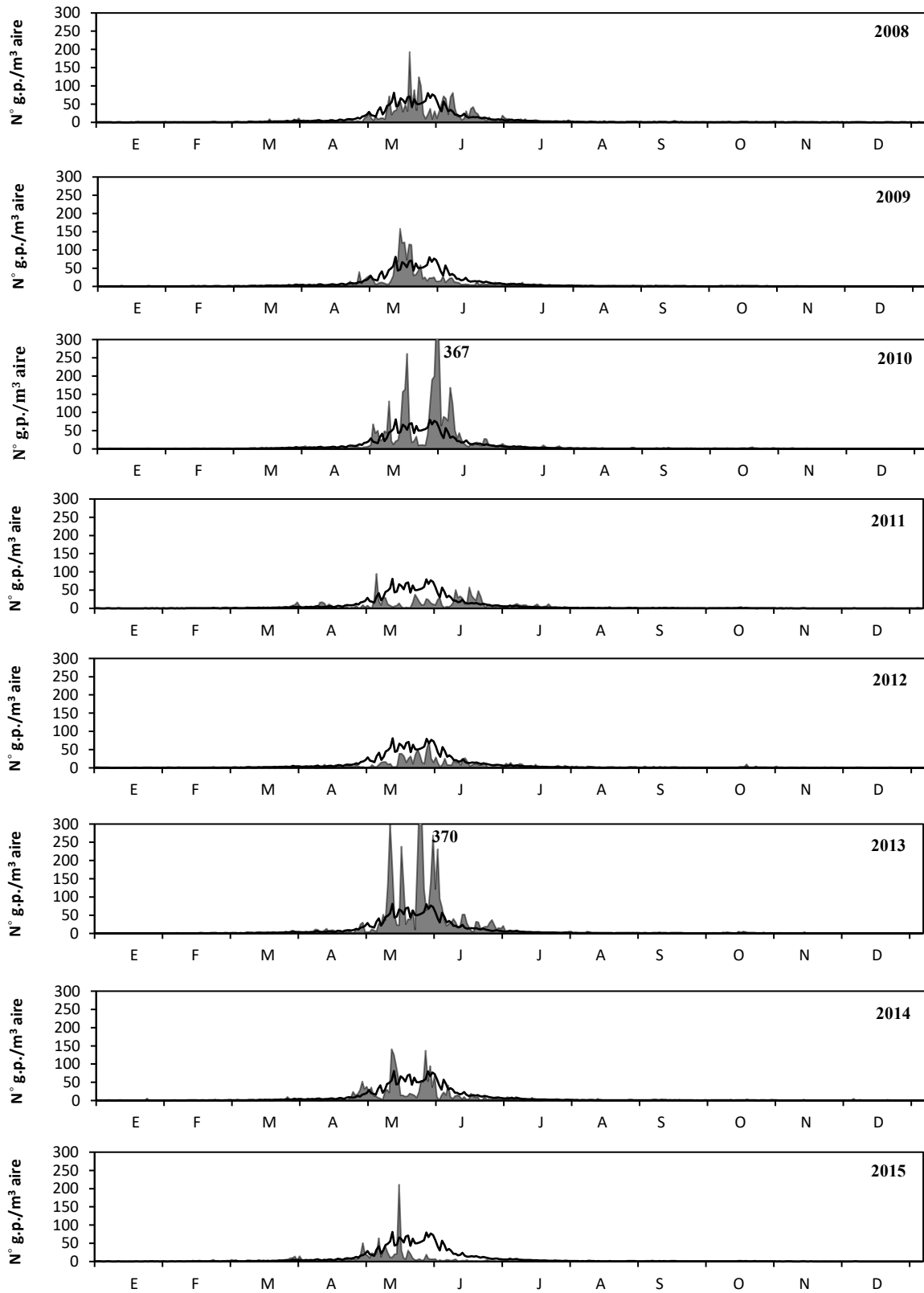


Figura 4.134. Continuación.

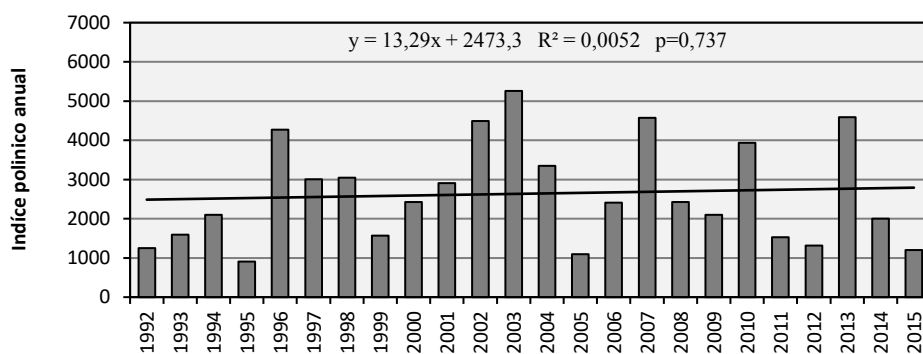
| Año       | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992      | 02-02 (34)/27-10 (302)  | 269      | 1.186         | 11-05 (132)     | 60                                     | 99       | 476           | 170       | 710           |
| 1993      | 04-04 (95)/14-09 (258)  | 164      | 1.518         | 02-06 (155)     | 99                                     | 60       | 613           | 104       | 905           |
| 1994      | 20-03 (80)/08-09 (252)  | 173      | 1.996         | 08-05 (129)     | 149                                    | 49       | 322           | 124       | 1.674         |
| 1995      | 31-01 (31)/17-09 (261)  | 231      | 863           | 25-05 (146)     | 67                                     | 115      | 519           | 116       | 344           |
| 1996      | 05-03 (65)/21-08 (234)  | 170      | 4.062         | 02-06 (154)     | 484                                    | 89       | 2426          | 81        | 1.636         |
| 1997      | 17-03 (77)/02-09 (246)  | 170      | 2.857         | 11-05 (132)     | 218                                    | 55       | 982           | 115       | 1.875         |
| 1998      | 10-03 (70)/05-09 (249)  | 180      | 2.901         | 15-05 (137)     | 191                                    | 67       | 791           | 113       | 2.110         |
| 1999      | 30-03 (90)/27-09 (271)  | 182      | 1.491         | 14-05 (135)     | 144                                    | 45       | 655           | 137       | 836           |
| 2000      | 10-03 (70)/27-07 (209)  | 140      | 2.307         | 29-05 (150)     | 269                                    | 80       | 1.229         | 60        | 1.078         |
| 2001      | 18-03 (78)/19-08 (232)  | 155      | 2.769         | 03-06 (155)     | 217                                    | 77       | 1.987         | 78        | 782           |
| 2002      | 26-03 (86)/13-07 (195)  | 110      | 4.268         | 26-05 (147)     | 430                                    | 61       | 2.897         | 49        | 1.371         |
| 2003      | 23-04 (114)/16-07 (198) | 85       | 5.009         | 17-05 (138)     | 815                                    | 24       | 1.0251        | 61        | 3.758         |
| 2004      | 05-04 (96)/24-07 (206)  | 111      | 3.182         | 28-05 (149)     | 342                                    | 53       | 1.183         | 58        | 1.999         |
| 2005      | 30-03 (91)/11-09 (254)  | 166      | 1.041         | 10-05 (131)     | 58                                     | 40       | 448           | 126       | 593           |
| 2006      | 04-04 (95)/04-07 (186)  | 92       | 2.298         | 20-05 (141)     | 218                                    | 46       | 1.244         | 46        | 1.054         |
| 2007      | 11-04 (103)/21-07 (203) | 102      | 4.354         | 11-05 (132)     | 373                                    | 29       | 748           | 73        | 3.606         |
| 2008      | 28-03 (88)/31-08 (244)  | 157      | 2.315         | 18-05 (139)     | 193                                    | 51       | 681           | 106       | 1.634         |
| 2009      | 26-03 (86)/15-09 (259)  | 174      | 1.996         | 13-05 (134)     | 158                                    | 50       | 531           | 126       | 1.465         |
| 2010      | 23-04 (114)/26-08 (239) | 126      | 3.738         | 29-05 (150)     | 367                                    | 36       | 1.925         | 90        | 1.813         |
| 2011      | 24-03 (84)/05-10 (279)  | 196      | 1.457         | 04-05 (125)     | 95                                     | 41       | 231           | 155       | 1.226         |
| 2012      | 08-03 (68)/13-10 (287)  | 220      | 1.248         | 27-05 (148)     | 73                                     | 80       | 612           | 140       | 636           |
| 2013      | 11-04 (102)/18-07 (201) | 100      | 4.362         | 23-05 (144)     | 370                                    | 42       | 1.754         | 58        | 2.608         |
| 2014      | 26-03 (87)/08-10 (281)  | 197      | 1.900         | 11-05 (131)     | 141                                    | 46       | 447           | 151       | 1.453         |
| 2015      | 17-02 (49)/19-07 (200)  | 152      | 1.137         | 15-05 (135)     | 211                                    | 87       | 660           | 65        | 477           |
| 1992-2015 | 23-03 (83)/27-08 (239)  | 159      | 2.511         | 19-05 (135)     | 239                                    | 59       | 1.026         | 100       | 1.485         |

Tabla 4.101. Indicadores del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).

## 4.3.10.7. Estudio de tendencias

- Índice polínico anual

El patrón que sigue el índice polínico anual de polen de Poaceae durante el periodo estudiado en la atmósfera de Málaga, muestra fluctuaciones de un año a otro, con una ligera tendencia al aumento, aunque no significativa ( $R^2=0,0052$ ,  $p=0,737$ ) de los IPAs. Por otra parte, los resultados del análisis de la dinámica de este tipo polínico con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall*, verifica la ausencia de una tendencia significativa de la serie ( $Z=0,036$ ;  $p=0,826$ ) (Tabla 4.102). Si tenemos en cuenta el parámetro pendiente de *Sen*, se observa que la evolución de los índices polínicos de las gramíneas ha sido de signo positivo, con un valor de dicho parámetro igual a 8,52 (Fig. 4.141).



**Figura 4.135.** Evolución del índice polínico anual del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,036             | 0,826 | 8,52             |

**Tabla 4.102.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

- Niveles del polen de Poaceae

Los niveles de las concentraciones de polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga han sido analizados según la categoría del grupo 2 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007). Se puede observar en la tabla (4.103) que los días con concentraciones nulas ( $<1$  granos de polen/m<sup>3</sup>) han fluctuado entre un mínimo de 126 días (año 2009) y un máximo de 217 días (año 1999), mostrando un valor promedio de 166 días y una desviación típica de 26,8. Por otra parte, el promedio de los días con concentraciones medias diarias respecto a la categoría 1-25 granos de polen/m<sup>3</sup> ha sido 176 ( $\pm 25,8$ ) durante el conjunto de los años, presentando un mínimo de 129 días (año 2006) y un máximo de 219 días (año 2009). Los días con concentraciones entre 26-50 granos de polen/m<sup>3</sup> varían entre un mínimo de 2 días (año 1992) y un máximo de 17 días (año 2007), con un promedio

de 11 días ( $\pm 18,5$ ) durante los años estudiados. Por último, los días con valores superiores a los 50 granos de polen/ $m^3$  de media diaria supusieron un promedio de 12 días y han oscilando entre un mínimo de 1 (año 1995) y un máximo de 22 (año 1996).

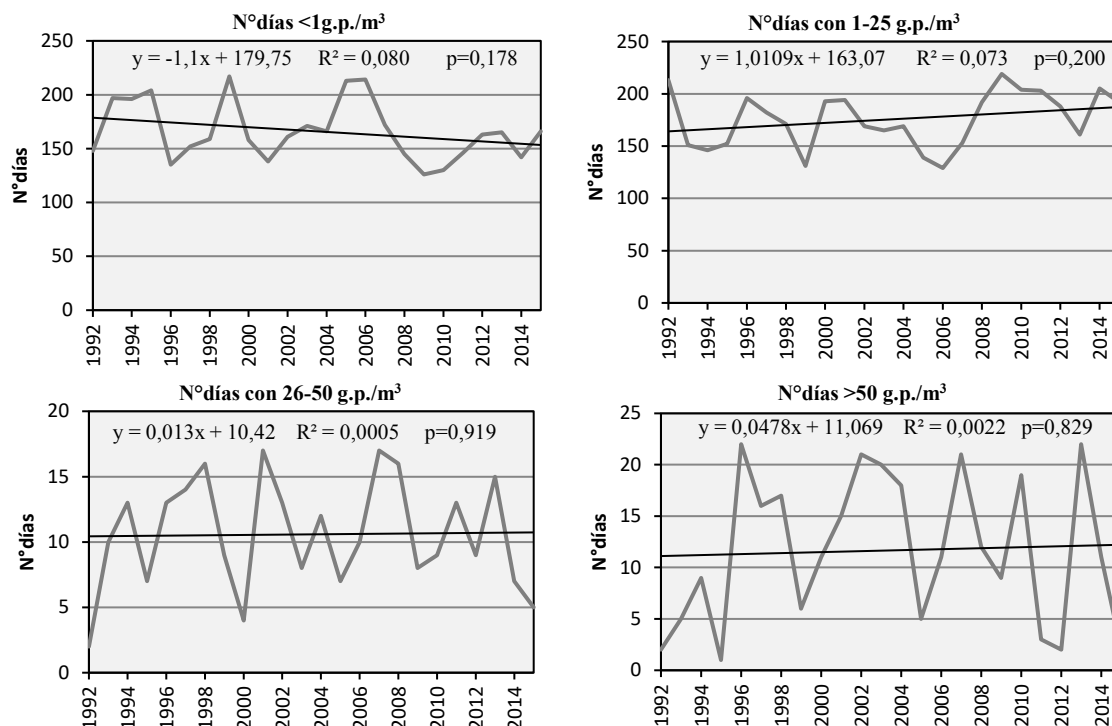
| Niveles                   | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|---------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./ $m^3$    | 126    | 217    | 166   | 26,8         | 13,8   |
| Nº días 1-25 g.p./ $m^3$  | 129    | 219    | 176   | 25,8         | 18,5   |
| Nº días 26-50 g.p./ $m^3$ | 2      | 17     | 11    | 4,1          | 27,3   |
| Nº días >50 g.p./ $m^3$   | 1      | 22     | 12    | 7,1          | 37,3   |

**Tabla 4.103.** Número de días al año con diferentes niveles de concentraciones de polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

Se ha aplicado el test no paramétrico de *Mann-kendall* para analizar la distribución de los días con diferentes niveles de granos de polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga a lo largo de los 24 años de estudio (Tabla 4.104). Los resultados obtenidos muestran que existe una tendencia negativa pero no significativa a la disminución en el número de días sin granos de polen de Poaceae (<1 g.p./ $m^3$ ) en la atmósfera, mientras con la categoría 26-50 g.p./ $m^3$  no se observó ninguna tendencia, con un valor de *Sen* igual a 0. Sin embargo, se ha observado una tendencia positiva, aunque estadísticamente no es significativa, en el caso de la categoría 1-25 g.p./ $m^3$  y también >50 g.p./ $m^3$  (Fig. 4.136), con valores de pendiente de *Sen* igual a 0,95 y 0,02 respectivamente.

| Nº días = f (g.p./ $m^3$ ) | <i>Mann-Kendall</i> Test |       | Pendiente de <i>Sen</i> |
|----------------------------|--------------------------|-------|-------------------------|
|                            | Z                        | Sig.  | Q                       |
| Nº días <1 g.p./ $m^3$     | -0,098                   | 0,519 | -0,61                   |
| Nº días 1-25 g.p./ $m^3$   | 0,153                    | 0,309 | 0,95                    |
| Nº días 26-50 g.p./ $m^3$  | -0,022                   | 0,901 | 0                       |
| Nº días > 50 g.p./ $m^3$   | 0,037                    | 0,823 | 0,02                    |

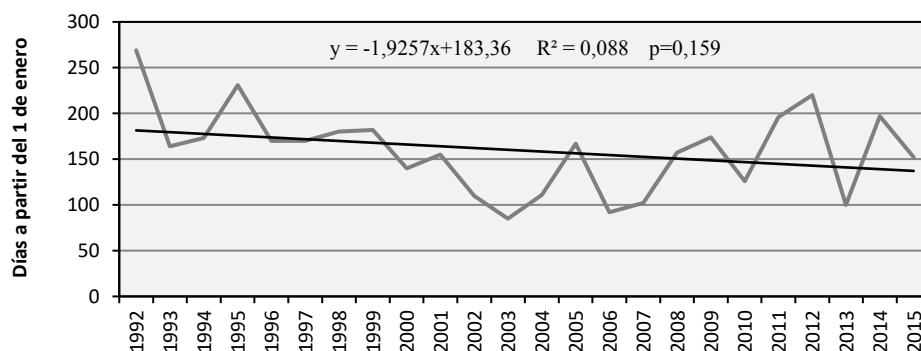
**Tabla 4.104.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de Poaceae, en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.136.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones de polen de Poaceae en Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

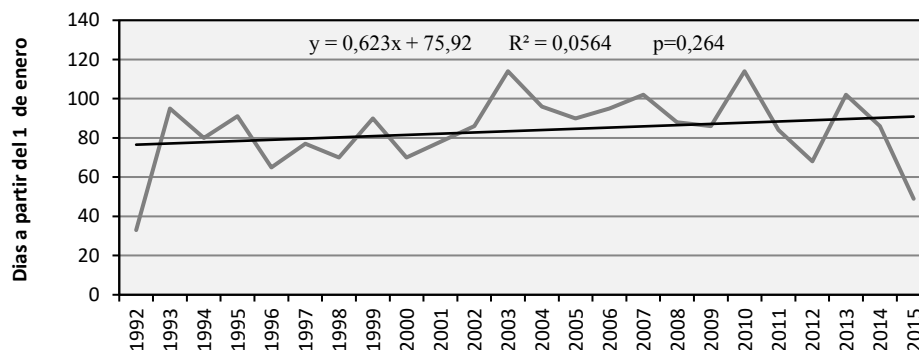
▪ **Parámetros del PPP**

El análisis de la dinámica de la **duración del periodo de polinación principal** del polen de Poaceae muestra una tendencia al acortamiento de la misma, aunque no es estadísticamente significativa (Tabla 4.105). Asimismo, se observa que el PPP ha fluctuado entre 85 días como mínimo y 269 días como máximo, mostrando un promedio de 159 días durante el periodo estudiado (Fig. 4.137)



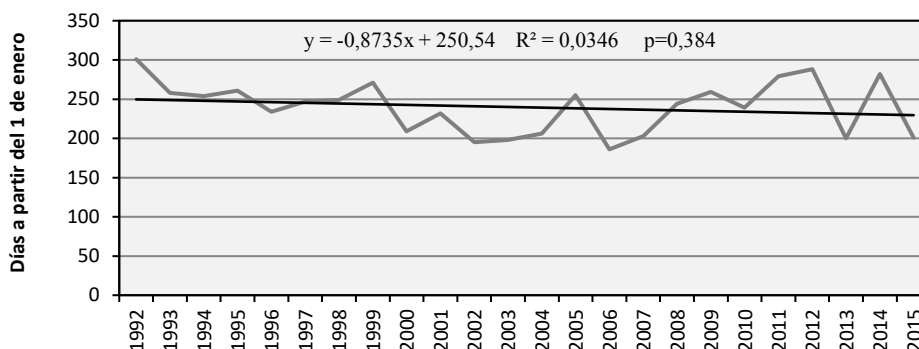
**Figura 4.137.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de Poaceae en Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El **inicio de la estación polínica** de Poaceae muestra una tendencia al retraso, pero no es estadísticamente significativa ( $Z=0,132$ ,  $p=0,384$ ) (Tabla 4.105). La fecha media de inicio fue el 23 de marzo ( $84\pm 18$ ) oscilando entre el 31-01 (31) y el 23-04 (114), con un porcentaje de variación igual a 21% durante el periodo estudiado. Por otra parte, los resultados de la pendiente de *Sen* indican que el comportamiento de la fecha inicio del PPP de Poaceae mostró una magnitud de signo positivo de la tendencia igual a 0,58 (Fig. 4.138).



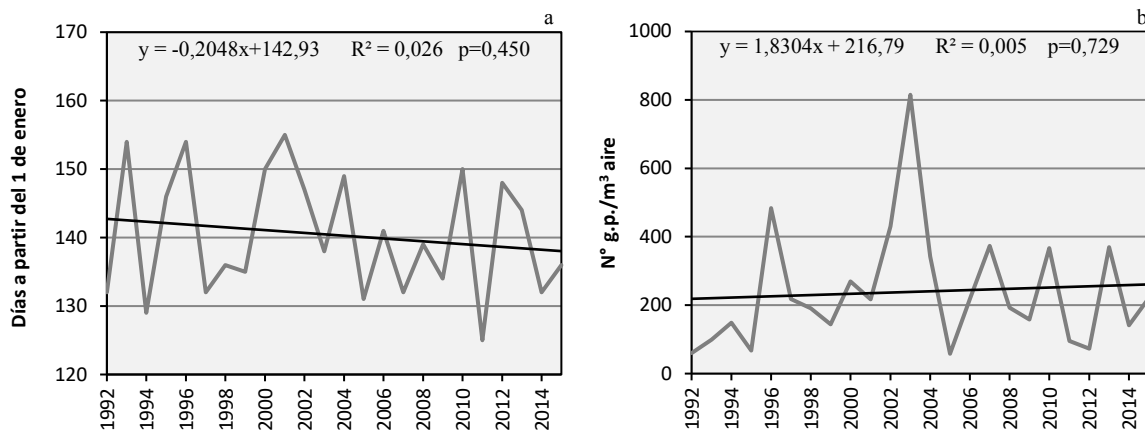
**Figura 4.138.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Con respecto a los resultados obtenidos analizando del análisis del comportamiento del **final del periodo de polinización principal** de las gramíneas en Málaga, mediante la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall*, se puede observar que hay una tendencia negativa, que no es estadísticamente significativa, indicando un ligero adelanto en las fechas de final de polinización a lo largo del periodo de estudio (Tabla 4.105), teniendo el día 27/08 como fecha media (Fig. 4.139).



**Figura 4.139.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Analizando la dinámica referente tanto al **día pico** como al **valor máximo** obtenido durante el PPP, se observa una tendencia al adelanto de la fecha del mismo, aunque no ha sido significativa ( $Z=-0,08$ ;  $p=0,584$ ), así como, una tendencia no significativa a un ligero aumento con pendiente de *Sen* igual a 2,07 (Fig. 4.140, Tabla 4.105).



**Figura 4.140.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce del día pico de Poaceae (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | 0,132             | 0,384 | 0,58             |
| Final PPP    | -0,123            | 0,418 | -0,84            |
| Duración PPP | -0,163            | 0,275 | -1,45            |
| Día pico     | -0,085            | 0,584 | -0,17            |
| Valor pico   | 0,105             | 0,487 | 2,07             |

**Tabla 4.105.** Resumen de los resultados del test de *Mann-Kendall* y de la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.10.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

Los resultados obtenidos tras realizar el análisis de correlación entre las concentraciones medias diarias de polen de Poaceae durante el PPP completo del conjunto de los años y los parámetros meteorológicos, muestran que las temperaturas (máxima, media, mínima) presentaron coeficientes negativos durante el PPP. Resultados similares se han obtenidos con las precipitaciones y la humedad relativa, con correlaciones significativas y negativas, pero ocurrió lo contrario con las horas de sol que mostraron una correlación positiva con las concentraciones de Poaceae. En el caso de los vientos, se obtuvieron correlaciones significativas y positivas tanto con la velocidad media como con los vientos procedentes del de tercer y cuarto cuadrante. Sin embargo, se registraron correlaciones negativas con el viento de primer y segundo cuadrante, al igual que con las calmas. A considerar solamente el periodo pre-pico, se observa un comportamiento diferente en relación con las temperaturas, que mostraron correlaciones positivas y significativas, mientras que las precipitaciones, la humedad relativa, las horas de sol, la velocidad media del viento y las calmas mostraron resultados similares a los obtenidos tomando el PPP completo. Con la dirección del viento, aparecieron correlaciones negativas con el segundo cuadrante y positivas con del cuarto cuadrante. Con respecto al post-pico, se observa que las temperaturas mostraron coeficientes de correlación negativos. En lo que se refiere a los vientos, aparecieron correlaciones significativas y negativas con los del primer y segundo cuadrante



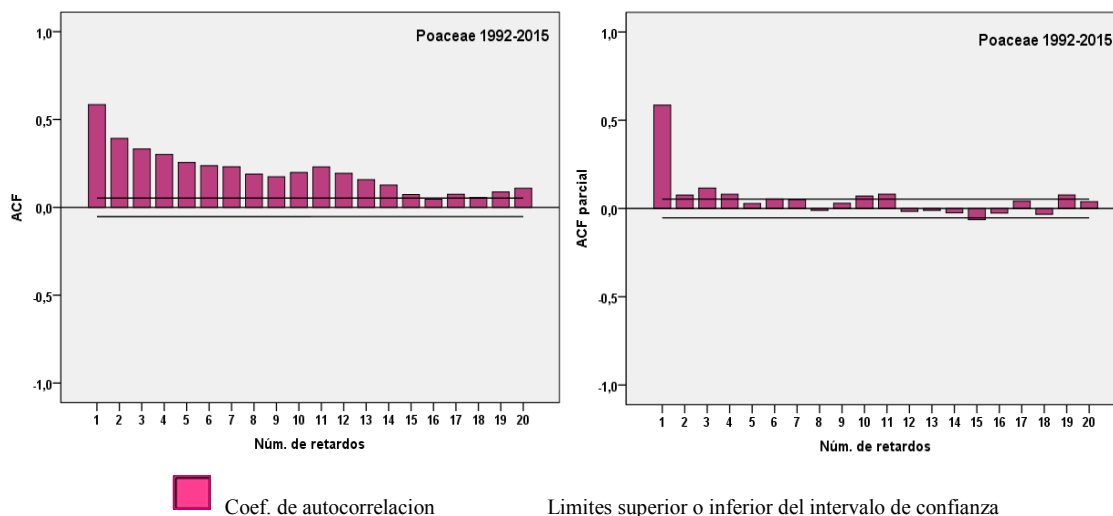
mientras que es éstas fueron positivas con los del tercer y cuarto cuadrante. Por otra parte, los parámetros horas de sol, humedad relativa, velocidad media del viento y las calmas presentaron un comportamiento similar a lo mostrado durante el pre-pico. Por último, destacar que las precipitaciones no presentaron ninguna correlación durante el post-pico (Tabla 4.106).

#### 4.3.10.9. Análisis de autocorrelaciones

Los análisis de autocorrelación de la serie de polen mostraron un elevado número de retardos (14 retardos) que presentan coeficientes de correlación significativos, aunque el mayor coeficiente de autocorrelación se obtuvo con la concentración del día anterior. Al realizar las autocorrelaciones parciales, los valores de los coeficientes disminuyen, excepto en el caso del retardo de un día, estableciéndose una alta asociación entre las concentraciones de un día con las del día previo. Por este motivo, se eligió la concentración del día anterior (n-1), siendo la variable que presentó un valor del coeficiente de correlación estadísticamente significativo más alto, para ser utilizada como variable independiente en los modelos de pronóstico (Fig. 4.141).

|                          | PPP<br>N=3820 | Pre-pico<br>N=1418 | Post-pico<br>N=2402 |
|--------------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,061*       | -0,168**           | -0,002              |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | -0,113*       | 0,651***           | -0,236**            |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | -0,173**      | 0,653***           | -0,347***           |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | -0,239***     | 0,450***           | -0,437***           |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,234**      | -0,306***          | -0,203**            |
| <b>Horas de Sol</b>      | 0,230**       | 0,297**            | 0,289**             |
| <b>V. med viento</b>     | 0,206**       | 0,160**            | 0,192**             |
| <b>% Vto. 1°C.</b>       | -0,063*       | -0,008             | -0,071*             |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,180**      | -0,099*            | -0,129*             |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | 0,040*        | 0,016              | 0,046*              |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,187**       | 0,089*             | 0,156*              |
| <b>Calma</b>             | -0,132**      | -0,070*            | -0,140*             |

**Tabla 4.106.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los períodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .



**Figura 4.141.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de concentraciones medias diarias del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.3.10.10. Modelos de pronóstico

Tras realizar un estudio de regresión múltiple por pasos entre las concentraciones medias diarias del polen de Poaceae durante el periodo pre-pico (variable dependiente) y las 12 variables meteorológicas (variables independientes), para el conjunto de los años estudiado, se puede observar que el primer paso se ha obtenido un modelo incluyendo la temperatura media como variable independiente. Este modelo obtuvo un coeficiente de determinación de 0,186. En el segundo paso, se consiguió un incremento de dicho coeficiente, ya que se obtuvo un modelo 2 en cuya ecuación se incluyen las variables predictoras la temperatura media, la temperatura máxima y la velocidad media del viento. Por último, en el tercer paso, se incorporó la temperatura mínima junto con las variables independientes anteriormente citadas en los modelos previos, por lo que se consiguió elevar ligeramente el coeficiente de determinación. En todos los casos el valor de  $R^2$  resultó ser significativo (Tabla 4.107).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos  | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|---|----------------|-------|
| 1a     | Poa=5,149 T <sup>a</sup> med-70,772   | 0,186          | 0,000 |
| 2a     | Poa=3,410 T <sup>a</sup> med +1,553 T <sup>a</sup> max +0,307 Vel.Med.Vt-79,156                         | 0,192          | 0,000 |
| 3a     | Poa=2,214 T <sup>a</sup> med +2,059 T <sup>a</sup> max+0,328 Vel.Med.Vt+0,909 T <sup>a</sup> min-81,173 | 0,198          | 0,000 |

**Tabla 4.107.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de Poaceae durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos (1992-2015).

Al incluir las variables D-media y la concentración del día anterior, las ecuaciones mejoran notablemente, habiéndose obtenido cuatro modelos. Como se observa en el modelo 1, introduciendo la concentración del día anterior se alcanza un coeficiente de determinación de



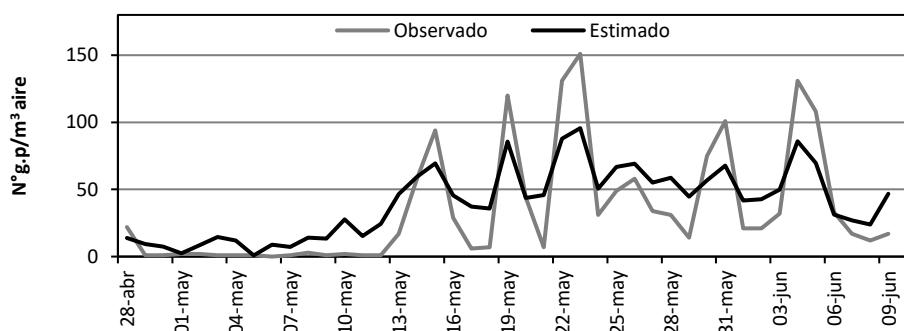
0,405 que llega al 0,471 al incluir la D-media. Cuando se consideran los otros modelos aparece un ligero aumento del coeficiente de determinación alcanzando un valor de 0,507 en el modelo 4, que incluye las variables independientes de concentración del día anterior, la D-media, la temperatura máxima y el viento de cuarto cuadrante (Tabla 4.108).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos  | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|---|----------------|-------|
| 1b     | Poac= 0,676 Poa <sub>t-1</sub> +6,496   | 0,405          | 0,000 |
| 2b     | Poac=0,508 Poac <sub>t-1</sub> +0,486 Dmed+0,331  | 0,471          | 0,000 |
| 3b     | Poac=0,491 Poac <sub>t-1</sub> +0,369 Dmed+1,891 T <sup>a</sup> max-39,150                | 0,500          | 0,000 |
| 4b     | Poac=0,486 Poac <sub>t-1</sub> +0,414 Dmed+1,542 T <sup>a</sup> max +0,115 Vto.4°C-38,039 | 0,507          | 0,000 |

**Tabla 4.108.** Mejores modelos de regresión por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de Poaceae durante el periodo de pre-pico en Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) (1992-2015).

#### Validación del mejor modelo

Con el objetivo de contrastar la validez del mejor modelo de pronóstico obtenido (modelo 4b), se ha comparado las concentraciones medias diarias del polen de Poaceae durante el pre-pico del año 2016 (observado) con los datos obtenidos (esperados) mediante la ecuación de regresión del modelo 4b. La figura (4.142) indica el grado de asociación entre las concentraciones medias diarias del polen de este tipo obtenidas en 2016 y las estimadas, observándose una cierta asociación entre las dos variables. Tras realizar la prueba de correlación mediante el test de *Spearman*, se muestra una correlación positiva y significativa entre los datos observados y estimados. Por otra parte, al realizar la prueba de *Wilcoxon*, se observa que no existen diferencias significativas entre los promedios de los datos comparados (Tabla 4.109).



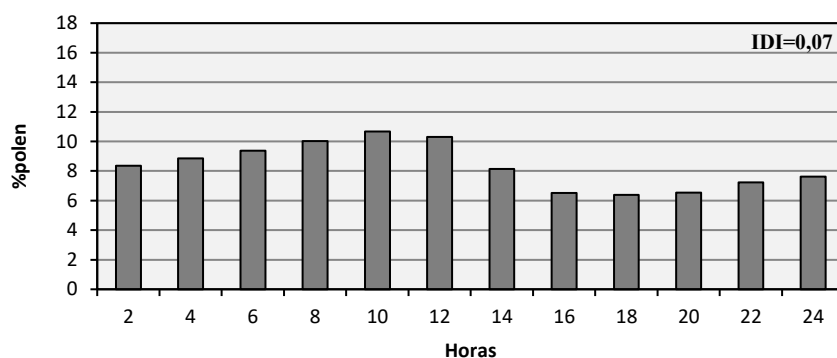
**Figura 4.142.** Concentraciones medias diarias del polen de Poaceae durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 4b de la ecuación de regresión.

|  | Spearman Test |       | Wilcoxon Test |         |        |       |
|--|---------------|-------|---------------|---------|--------|-------|
|  | r             | p     | Rango +       | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 4<br/>Observado-Estimado</b> | 0,781         | 0,000 | 29            | 10      | -1,689 | 0,091 |

**Tabla 4.109.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias de polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.10.11. Variación intradiaria

El análisis del comportamiento intradiario de polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante los años de estudio se caracterizó por presentar un perfil bastante plano, con un pequeño incremento entre las 4:00 de la madrugada y las 12:00 del mediodía. El índice de distribución intradiaria ha sido bajo, con un valor igual a  $0,07 \pm 0,02$  y un coeficiente variación de 35% (Fig. 4.143).



**Figura 4.143.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Los diferentes años, por separado muestran un comportamiento similar al modelo promedio (Fig. 4.144), observándose un pequeño incremento a partir de las 4 de la madrugada que alcanza su máximo entre las 10 y las 12 del mediodía. Cabe destacar que en los años 1995, 1997, 2006, 2007, 2008, 2012, 2014 y 2015 aparecen picos durante las primeras horas de la mañana mientras en los años 2002 y 2009 se registran picos durante las últimas horas de la noche, en general de escasa relevancia. Los valores del IDI registrados para este tipo polínico fueron bajos. Sólo en los años 1996, 2003 se obtuvieron valores algo más elevados de 0,12 y 0,15 respectivamente y mostrando picos máximos que superan ligeramente el 18% del total medio diario tanto a las 10 horas (año 1996) con a las 12 horas (año 2003).

#### 4.3.10.12. Discusión

Las gramíneas son plantas omnipresentes que crecen en una amplia gama de hábitat y representan casi el 20% de la cobertura de la tierra (Mabberley, 1987). La familia de las gramíneas es extremadamente amplia, con aproximadamente 620 géneros y 10.000 especies en todo el mundo. De ellos, con más de 420 especies que existen en el sur de España (García Rollán, 1985). El gran número de especies que integra esta familia hace que se prolongue la aparición del polen en la atmósfera debido a la floración sucesiva de las diferentes especies con distinta fenología (Férrnandez-González *et al.*, 1999; Spiexsma *et al.*, 2003; Prieto-Baena *et al.*, 2003), mostrando así una curva de polinación anual con colas largas y diferentes picos (González-Minero *et al.*, 1998), como ocurre en nuestra área de estudio.

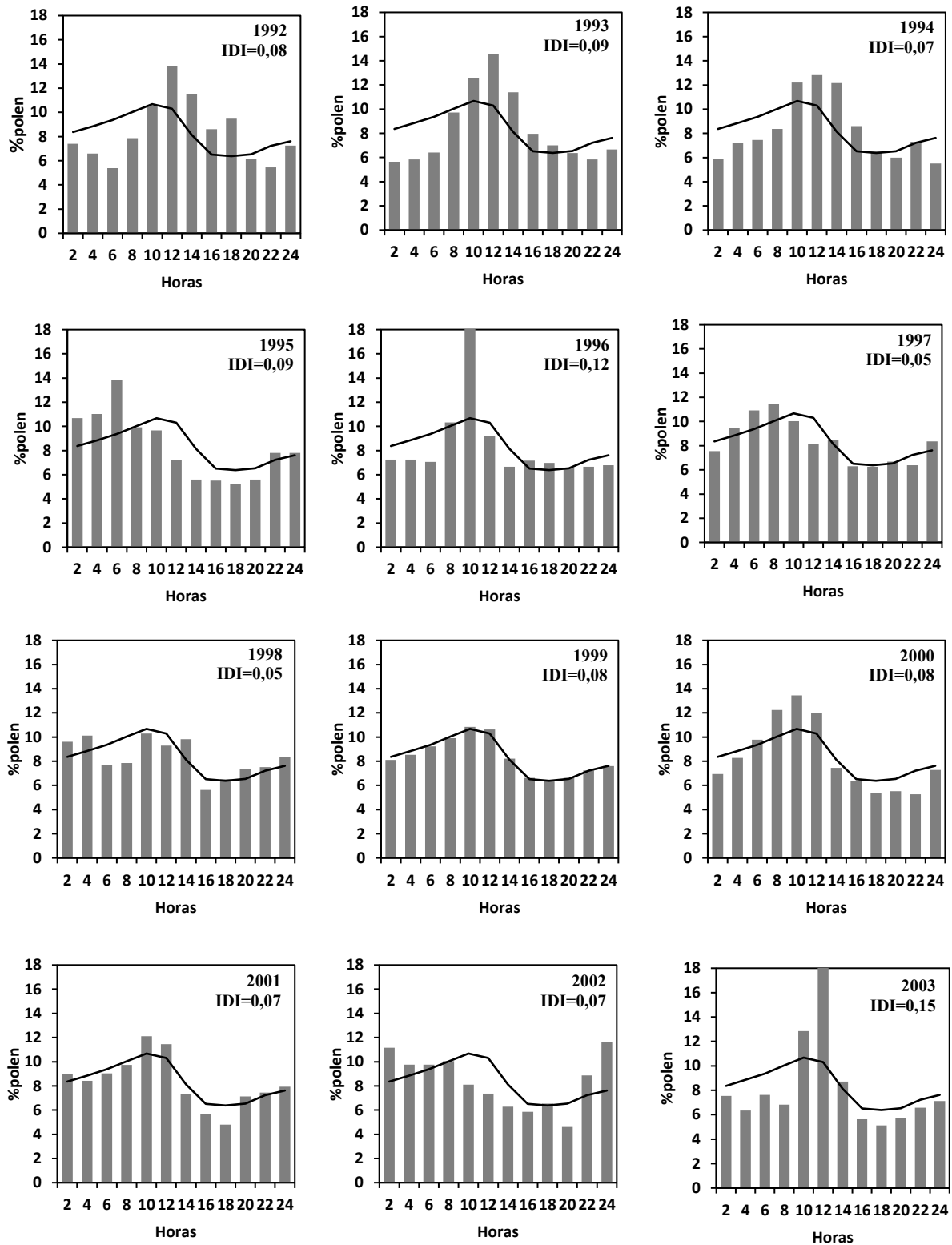


Figura 4.144. Variación intradiaria del polen de Poaceae para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

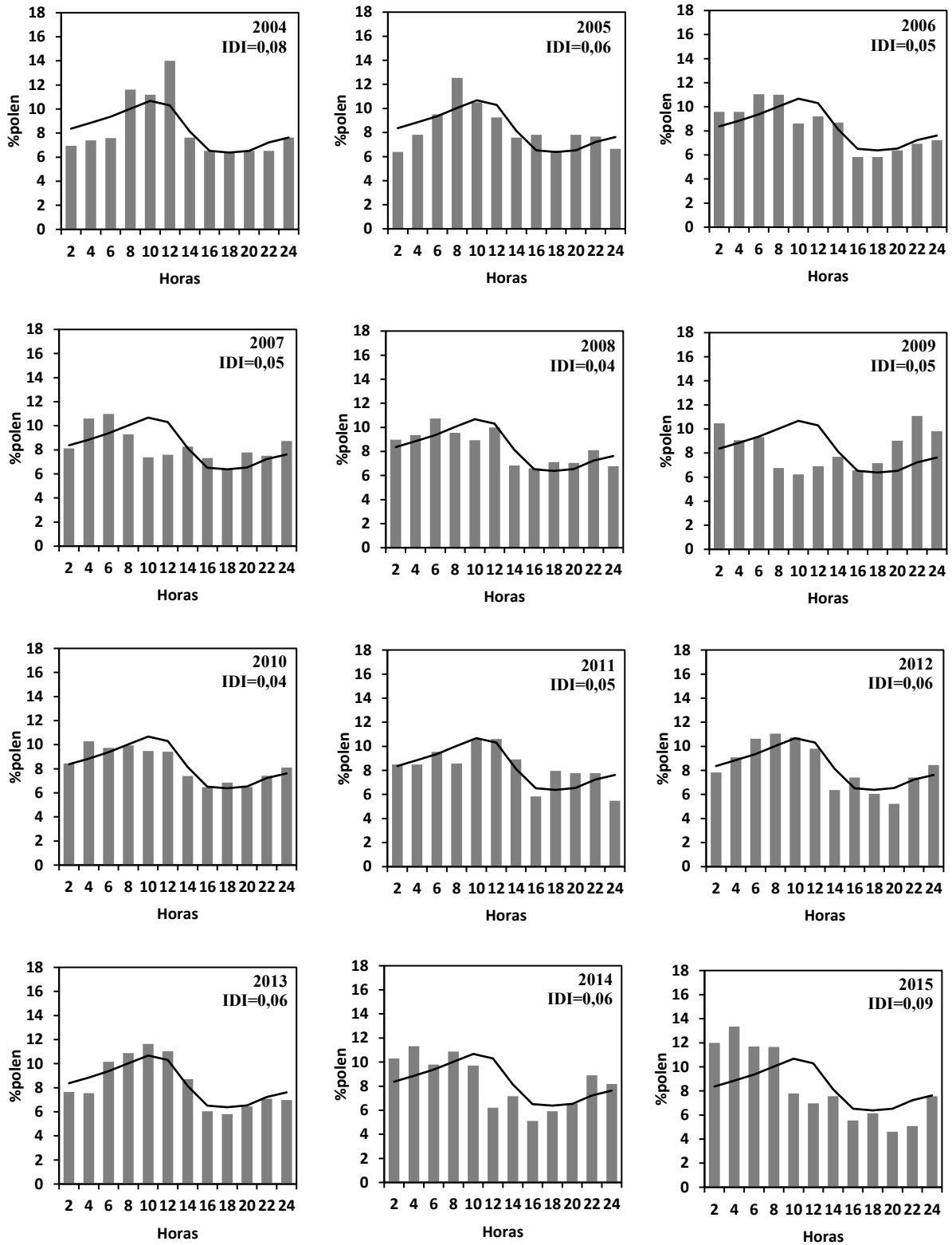


Figura 4.144. Contiución.

El polen de Poaceae representa el 7,79% del espectro polínico total ocupando así la cuarta posición entre los tipos más relevantes en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado y mostrando un periodo de polinación principal que tiene lugar a partir de finales de marzo hasta agosto (una media de 159 días). Los índices polínicos anuales de las Poaceae alcanzan valores importantes en la mayoría de las estaciones aerobiológicas pertenecientes a la REA, siendo con frecuencia uno de los principales tipos polínicos. Cabe destacar que los niveles más altos de los que tenemos referencia se registran en Cáceres, donde se obtuvo un índice polínico anual superior a 30.000 durante el 2001 (Paulino *et al.*, 2002).

Según numerosos autores, la temperatura es el factor más importante que afecta la floración de las gramíneas en Europa (Emberlin *et al.*, 1993, 1999, 2000; Laaidi, 2001; Frenguelli, 2002; Stach *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2009). Según Emberlin *et al.* (2000) y Sánchez-Mesa *et al.* (2003) el periodo de polinación principal de gramíneas varía con la latitud. En las regiones más templadas, este periodo comienza antes en comparación con las latitudes más altas y climas más fríos. En Noruega y Finlandia, el inicio de la floración empieza entre finales de junio y principios de Julio (Emberlin *et al.*, 2000), mientras en el sur de Europa como en España, Portugal y Croacia, el polen de gramíneas aparece a finales del mes de marzo o en abril (Fernández-González, 1999; Peternel *et al.*, 2005, 2006; Abreu *et al.*, 2008; García-Mozo *et al.*, 2009).

La fecha de inicio, la intensidad de la floración y la duración de la estación polínica de las gramíneas es diferente de un lugar a otro, debido a las diferencias genéticas y fisiológicas de las especies, uso del suelo, latitud, la altitud y también debido a las condiciones climáticas (Fernández-González *et al.*, 1999; García-Mozo *et al.*, 2009; Fernández-Rodríguez *et al.*, 2014; García de León *et al.*, 2015). Por otra parte, a nivel de cada localidad existen variaciones de año en año en función de las condiciones meteorológicas (Emberlin *et al.*, 1994; Fernández-González *et al.*, 1999), estado hídrico del suelo y la edad de las plantas (Kasprzyk, 2009). Emberlin (1997) indica que, aunque son muchas las especies que están involucradas en la determinación del periodo principal de polinación de las gramíneas, sólo una pequeña proporción de éstas son las responsables de los registros polínicos detectados en la atmósfera. Por ejemplo, *Dactylis glomerata*, *Lolium rigidum*, *Trisetaria panicea* y *Vulpia geniculata* son consideradas como las especies más relevantes en la región mediterránea de la Península Ibérica (León-Ruiz *et al.*, 2011) y, por otra parte, existen diferencias importantes en la producción polínica entre las diferentes especies de la familia Poaceae (Prieto-Baena *et al.*, 2003; Aboulaich *et al.*, 2009), lo que puede ser considerado como un factor explicativo de la variación interanual de los registros polínicos de Poaceae.

Los resultados obtenidos en Málaga apenas indican una muy ligera tendencia al incremento, aunque no significativo, de los índices polínicos anuales de las Poaceae durante los 24 años analizados (Fig. 4.135), si bien hay que indicar que se ha observado variaciones interanuales en los índices polínicos anuales de Poaceae en Málaga. En un estudio previo llevado a cabo en esta misma localidad (Recio *et al.*, 2010), sobre el polen de gramíneas a lo largo de 17 años (1992-2007) se mostraba un incremento de los niveles de polen, explicado por el aumento de las temperaturas mínimas durante la primavera, lo que favorecía el desarrollo vegetativo de las plantas. Este comportamiento coincide con el descrito por García-Mozo *et al.* (2011) y García de León *et al.* (2015) en el sur de España y difiere del observado en el noroeste de España

(Rodríguez-Rajo *et al.*, 2010) donde no se encontró ninguna tendencia para este tipo polínico, ni tampoco en el suroeste de España (Tormo-Molina *et al.*, 2010), donde se registraron tendencias negativas. García-Mozo *et al.* (2009) demostró que las variables que controlan la producción polínica de las herbáceas, las fechas de inicio y los valores picos son principalmente la precipitación, las temperaturas y el fotoperiodo. Por otra parte, la influencia de las lluvias prestaciones, fundamentalmente las de marzo-abril, sobre la producción de polen de gramíneas se ha descrito en varios estudios (Cariñanos *et al.*, 2004; Stach *et al.*, 2008; Recio *et al.*, 2010; León-Ruiz *et al.*, 2011) y es particularmente importante en países con largos periodos de sequía, tales como los de clima mediterráneo (Smith *et al.*, 2009; Alba-Sánchez *et al.*, 2010). Este comportamiento es similar al observado en Málaga, ya que durante los años de escasas precipitaciones (1992, 1995, 1999, 2005, 2011, 2015) los valores anuales fueron muy bajos, mientras que en los años lluviosos ocurre el fenómeno contrario. Por ejemplo, en el año 1996 con más de 1000 mm de precipitación, se registró un índice polínico anual de 4.273, uno de lo más altos del periodo de estudio.

A corto plazo, aunque las altas temperaturas y la escasez de precipitaciones durante la estación polínica contribuyen al aumento de los niveles del polen de Poaceae en el aire (Emberlin *et al.*, 1999; Sánchez-Mesa *et al.*, 2003), las precipitaciones momentánea, sin embargo, pueden tener un efecto negativo de lavado atmosférico causando un descanso en el nivel de polen durante el periodo principal de polinación, lo cual induce grandes variaciones en la producción polínica (Palacios *et al.*, 2000; Barnes *et al.*, 2001; Sánchez-Mesa *et al.*, 2005; Smith and Emberlin 2006; Pérez *et al.*, 2009; Recio *et al.*, 2010). Frenguelli *et al.* (2014b) señalaron un comportamiento similar en Italia en lo que a variaciones interanuales se refiere. Dichos autores argumentan que las oscilaciones de los índices polínicos anuales son debidas, no sólo a cambios en los parámetros climatológicos citados anteriormente, sino también a la complejidad de los procesos que representa la floración, la dispersión, sedimentación y la re-suspensión de los granos de polen explicando la dinámica del polen en el aire lo que hace que sea difícil de predecir una tendencia de las concentraciones de polen de gramíneas. Otros autores (Ziska & Caulfield, 2000; Rogers *et al.*, 2006; Ziello *et al.*, 2012) explican que un incremento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> contribuyen, no solamente al aumento y aceleración del crecimiento vegetativo, sino también al incremento de la producción de polen debido a un aumento del número de flores.

Por otro lado, en este trabajo se ha observado un retraso en el inicio de la estación de polinación de gramíneas mientras que se aprecia un adelanto del final del periodo principal de polinación, lo que indica un acortamiento de la estación polínica de este tipo polínico en Málaga, si bien las tendencias obtenidas no fueron significativas. Este comportamiento ha sido explicado por el hecho que el estrés hídrico debido la variación del ritmo de las precipitaciones de un año a otro puede tener un efecto más directo que las temperaturas en la determinación del inicio de la estación polínica (Reddi *et al.*, 1988; Norris-Hill & Emberlin, 1993; Jato *et al.*, 2009).

En estudios relacionados con la evaluación del comportamiento de *Poaceae* se detectó un retraso en el inicio del PPP en ciudades como Neuchâtel (Clot, 2003), London (Emberlin *et al.*, 1993) aunque también se han detectado adelantos en la fecha de inicio en diferentes localidades de Italia tal como Parma (Ridolo *et al.*, 2007) y Perugia (Ghitarrina *et al.*, 2017). Por otra parte, en nuestro estudio se ha observado que durante los años con una duración corta del periodo de



polinación principal se registró una producción polínica más intensa como en los años 2003 (85 días), 2007 (102 días), 2013 (100 días) con índices polínicos anuales de 5.009, 4.354 y 4.362, respectivamente. Dicho comportamiento ha sido explicado por Puc & Puc (2004) de tal manera que los periodos de polinación principal con una duración corta se caracterizan por una alta producción polínica.

Muchos trabajos indican que existen grandes diferencias entre las diferentes regiones tanto en las fechas del comienzo de la floración de las gramíneas como en la duración y las concentraciones durante la estación polínica (Frenguelli, 2002; Cholpek, 2007; Kasprzyk & Walanus, 2010; Myszkowska, 2010). En este sentido, Burr (1999) afirma que las tendencias de una localidad no pueden ser extrapoladas a las demás regiones. Por otra parte, los resultados del análisis de tendencias de este tipo polínico han puesto de manifiesto un adelanto (no significativo) de la fecha del día pico y un ligero aumento del valor máximo (pico) detectado en la atmósfera de Málaga durante el periodo analizado. García-Mozo *et al.* (2010a) también registraron un adelanto en las fechas del día pico de las gramíneas en el sur de España durante las últimas décadas, aunque dichas tendencias no fueron significativas. Igualmente, observamos que las temperaturas registradas durante el mes de mayo inciden directamente en la dinámica del día y valor pico (Ghitarrini *et al.*, 2017), al igual que ocurre en nuestra área estudio, con tendencia positiva y significativa de las temperaturas medias mensuales del mes de mayo, lo que favorece un adelanto de la fecha en que se produce el día pico.

Las correlaciones obtenidas con las temperaturas muestran signo positivo durante el periodo pre-pico y se tornaron de signo negativo durante el periodo post-pico (Tabla 4.106). Esto es debido a que durante este último las concentraciones polínicas disminuyen, mientras que las temperaturas continúan en aumentar. La humedad ha presentado una correlación negativa en ambos periodos mientras que la precipitación mostró una correlación negativa durante el pre-pico. Las correlaciones con las horas de sol y la velocidad media del viento aparecieron siempre positivas durante el PPP, pre-pico y post-pico. En relación con las correlaciones con la dirección de viento, se ha observado un patrón variable que puede estar determinado por la distribución de las gramíneas. La aparición de correlación negativa con el viento de primer cuadrante y positiva con el tercer cuadrante, tanto considerando el PPP completo de todos los años como el post-pico, puede ser explicada por los resultados de tendencias de dichos parámetros indicando un aumento durante el periodo estudiado. El efecto de la dirección del viento es bien conocido en las zonas costeras ya que se produce con un incremento de las concentraciones de polen cuando el viento sopla de zonas interiores mientras que disminuyen cuando los vientos soplan del mar (McDonald, 1980; González Minero *et al.*, 1993). Sin embargo, es de señalar que, en un trabajo realizado anteriormente en Málaga, Recio *et al.* (1996) encontraron resultado a menudo contradictorio a los citados anteriormente, con diferencias interanuales del patrón seguido por las direcciones de viento en la zona costera. Por otra parte, Palacios *et al.* (2000) muestran que la dirección del viento juega un papel muy importante en la determinación de las concentraciones de polen sobre todo si las plantas se encuentran situadas dentro de determinados cuadrantes.

Los resultados del análisis de regresión muestran que el modelo que incluye la concentración del día anterior, la D-media, la temperatura máxima y el viento del cuarto cuadrante es el que mejor explica la variabilidad de los datos polínicos durante el periodo pre-pico (Tabla

4.108). Cabe destacar los bajos coeficientes de regresión obtenidos cuando se utilizaron todas las variables meteorológicas. Por otro lado, al tratar validar los datos observados con los esperados del año 2016, el test de *Spearman* indica que hay una correlación significativa entre ambos datos utilizando las variables del modelo 4b, mientras que la prueba de *Wilcoxon* revela que no hay diferencias significativas entre los datos comparados, así que podemos concluir que se puede aceptar este modelo para predecir las concentraciones medias diarias del polen de Poaceae durante el periodo pre-pico (Tabla 4.109).

La evolución de las concentraciones del polen de Poaceae a lo largo del día muestra que este tipo polínico sigue un patrón promedio homogéneo con un pico máximo de escasa intensidad, apareciendo a las horas del mediodía, entre las 10:00-12:00 horas, aunque en algunos años aparecen diferencias, observándose picos en las primeras horas de la mañana y, en otros, en las últimas horas de la noche. Este ritmo coincide con trabajos anteriores realizados en Málaga (Trigo *et al.*, 1996b), en Córdoba (Galán *et al.*, 1991) así como en Berlín (Simoleit *et al.*, 2017), mostrando picos máximos en las horas del mediodía. Sin embargo, en otras localidades se observa una pauta general diferente como se describió en Inglaterra (Corden & Millington, 1991; Norris-Hill, 1999), quienes observaron una disminución en las concentraciones durante la madrugada y un incremento en las últimas horas de la tarde.

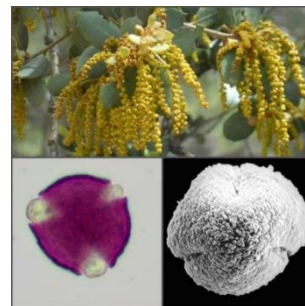
En este trabajo, se ha observado una tendencia de disminución (no significativo) en el número de días con niveles nulos ( $<1$  g.p./m<sup>3</sup>) mientras en aquellos con nivel moderado (entre 26-50 g.p./m<sup>3</sup>) no se observó ninguna tendencia. Por lo contrario, se ha observado una tendencia a un aumento (no significativo) en cuando al número de días con la categoría bajo (1-25 g.p./m<sup>3</sup>) y también alto ( $>50$  g.p./m<sup>3</sup>). Muchos estudios epidemiológicos han intentado establecer una concentración umbral del polen de gramíneas en la atmósfera, relacionada con el inicio de síntomas en pacientes sensibilizados (30-50 g.p./m<sup>3</sup>) (Davies & Smith, 1973; Ong *et al.*, 1997; Galán *et al.*, 2003), pero es difícil encontrar una concentración determinada de polen (umbral clínico) porque esto depende de la sensibilidad de las personas y varía en las diferentes áreas geográficas y entre los diferentes tipos polínicos (De Weger *et al.*, 2014).

Radauer & Breiteneder (2006) estimaron que la cuarta parte de las especies catalogadas como alérgicas pertenecían a la familia Poaceae. El polen de gramíneas ha sido considerado como uno de las principales causas de alergia, en las regiones tropicales (Lewis *et al.*, 1983), así como en Europa occidental, donde este tipo polínico, junto con los de especies de la familia Urticaceae constituyen aproximadamente la mitad del polen total anual registrado (D'Amato & Spieksma, 1990; Emeryk *et al.*, 2004). En España, la prevalencia entre las personas alérgicas al polen varía según la zona, así los porcentajes más elevados se encuentran en ciudades como Burgos (91%), Coruña y Madrid (81%), Bilbao (80%), Santander (79%) (Subiza, 2003). En Andalucía, las gramíneas son la segunda causa de polinosis detrás del olivo, con el 87% de prevalencia en Sevilla (Subiza *et al.*, 1998) y el 56% en Málaga (Torrecillas *et al.*, 1996). La capacidad alérgica de este tipo polínico no es homogénea entre las diferentes especies que pertenecen a la familia Poaceae. De hecho, existen especies como *Bromus*, *Cynodon*, *Dactylis* y *Lolium* que son altamente alérgicas mientras otras como es el caso de *Avena* presente una importancia alérgica limitada (Lewis *et al.*, 1983). Se han identificado 12 subfamilias de alérgenos dentro de la familiar *Poaceae*, y se han encontrado reacciones cruzadas entre alérgenos

de otras gramíneas (Standring *et al.*, 1987) debido a que los alérgenos comparten muchas características fisicoquímicas (Subiza & Jerez, 2002). Por otra parte, se han descrito reacciones cruzadas con el polen de otras familias como en el caso de *Platanus* (Varela *et al.*, 1997), *Olea*, *Parietaria* y *Betula* (Hernández de Rojas *et al.*, 1991).

### 4.3.11. Tipo polínico *Quercus*

El género *Quercus* L., perteneciente a la familia de Fagaceae, se encuentra bien representado en la región mediterránea. En Málaga, forma parte de los bosques autóctonos de la región, siendo más frecuentes *Quercus coccifera* L., *Q. suber* L., *Q. rotundifolia* Lam. y *Q. faginea* Lam. Además, tiene una gran importancia tanto ornamental como comercial ya que sus frutos se utilizan para la alimentación del ganado, su madera para construcción, y la corteza del alcornoque para la producción del corcho, entre otras aplicaciones.



#### 4.3.11.1. Descripción botánica

Árboles o arbustos perennifolios o caducifolios, con hojas simples y alternas. Las flores son unisexuales, las masculinas se disponen en amentos péndulos con un número variable de estambres, por lo general 6-12, y un periantio inconspicuo de 3-8 lóbulos; las flores femeninas se disponen solitarias dentro de una cápsula de escamas soldadas, con 3 a 6 estilos. El fruto, la bellota, es seco, de tipo aquenio, con cubierta coriácea y abundante tejido amiláceo.

#### 4.3.11.2. Época de floración/polinización

Florece de febrero a mayo, su polinización es anemófila.

#### 4.3.11.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado (colporoidado), isopolar, de simetría radial, de tamaño pequeño a mediano. De circular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial y de subcircular a subtriangular angulaaperturado, con ángulos obtusos y aristas ligeramente convexas, en vista polar; de suboblado a suboprolado. Ectoaberturas tipo colpo, terminales; endoaberturas de tipo poro, de márgenes difusos, situadas en el ecuador. Exina de unos 2  $\mu\text{m}$  de grosor en la mesocolpia, con relación sexina/nexina de 1,5. Tectum completo e infratectum columelado. La superficie es granulosa-verrucosa; las verrugas con superficie rugulada.

#### 4.3.11.4. Variación interanual

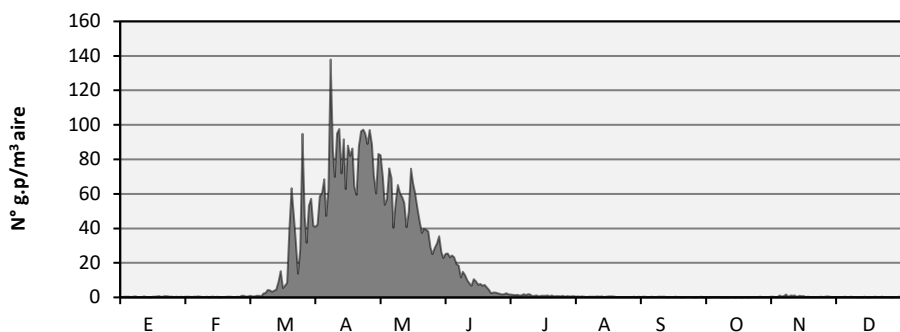
Durante el periodo estudiado (1992-2015), el polen de *Quercus* ocupó la tercera posición en orden de abundancia después de *Olea* y Cupressaceae, con una aportación al espectro polínico total del 14,28% y un índice polínico total medio de 4.839. Este tipo polínico presentó niveles elevados, aunque se puede observar que existe fluctuaciones en los IPAs que siguen un ritmo bienal durante los 24 años estudiados. Sus valores variaron entre un mínimo de 1.647 (año 1996) y un máximo de 9.108 (año 2005) (Tabla 4.110).

| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 1.925 | 8,70    | 18          |
| 1993  | 3.073 | 10,10   | 15          |
| 1994  | 3.205 | 11,76   | 13          |
| 1995  | 3.246 | 15,85   | 16          |
| 1996  | 1.647 | 3,85    | 16          |
| 1997  | 8.104 | 12,12   | 12          |
| 1998  | 4.891 | 14,29   | 15          |
| 1999  | 5.940 | 12,99   | 16          |
| 2000  | 2.679 | 8,23    | 13          |
| 2001  | 8.156 | 18,61   | 14          |
| 2002  | 5.420 | 17,36   | 18          |
| 2003  | 3.355 | 8,46    | 21          |
| 2004  | 2.952 | 11,72   | 14          |
| 2005  | 9.108 | 21,24   | 17          |
| 2006  | 2.782 | 10,27   | 16          |
| 2007  | 6.012 | 12,95   | 20          |
| 2008  | 6.065 | 18,91   | 13          |
| 2009  | 8.086 | 19,51   | 14          |
| 2010  | 4.480 | 11,02   | 18          |
| 2011  | 3.814 | 13,73   | 15          |
| 2012  | 5.884 | 19,98   | 20          |
| 2013  | 3.935 | 9,47    | 17          |
| 2014  | 7.656 | 18,71   | 18          |
| 2015  | 3.820 | 12,60   | 16          |
| Media | 4.839 | 14,28   | 16          |

**Tabla 4.110.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

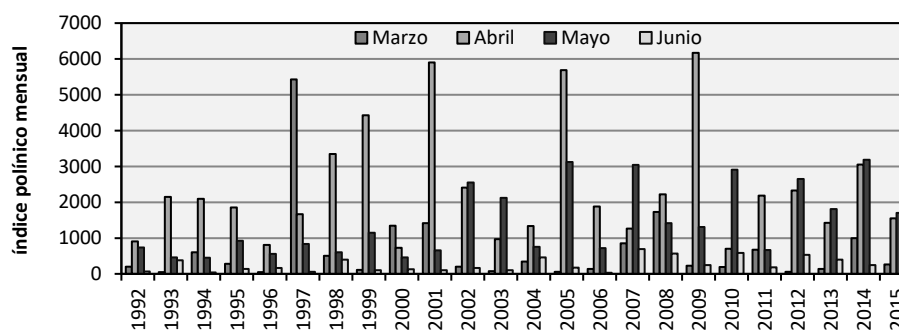
#### 4.3.11.5. Variación estacional

La evolución del promedio de las concentraciones media diaria del tipo polínico *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015) muestra que este polen se detecta fundamentalmente entre los meses de marzo a junio, aunque las concentraciones más altas se registran desde finales de marzo a finales de mayo, con un pico máximo de 138 granos de polen/m<sup>3</sup> como promedio, que se detecta en el mes de abril (Fig. 4.145). Con respecto a la distribución de las concentraciones máximas semanales, se puede ver que el valor máximo corresponde a la semana 16 como promedio de todo el periodo, aunque por lo general los registros máximos suelen ocurrir entre las semanas 16 y 18 (Tabla 4.110), si bien se apreció que existen variaciones interanuales, fluctuando entre las semanas 12 (finales de marzo) y 21 (finales de mayo).



**Figura 4.145.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El análisis de la distribución mensual del polen de *Quercus* ha presentado un patrón regular durante los 24 años de estudio (Fig. 4.146). Este comportamiento revela que las cantidades máximas se detectaron durante los meses de abril y mayo, excepto en el año 1997 que tuvieron lugar el mes de marzo, con un índice polínico mensual de 5.425. Por lo general, abril fue el mes que presentó los mayores índices polínicos durante los distintos años. Sin embargo, con menor frecuencia, a veces se alcanzaron las máximas concentraciones en el mes mayo (sólo 8 años). El valor promedio del índice polínico mensual durante el mes de abril es de 2.378. El registro más alto obtenido fue de 6.172 (año 2009) mientras el más bajo fue de 710 (año 2010). Análogamente, el promedio del índice polínico mensual obtenido para el mes de mayo fue de 1.449 variando entre 449 (1994) y 3.183 (año 2014).



**Figura 4.146.** Índices polínicos mensuales obtenidos en marzo, abril, mayo y junio para el tipo polínico *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En cuanto a la distribución de las concentraciones medias diarias de polen de *Quercus*, está se caracterizó por una marcada estacionalidad durante el periodo 1992-2015, de tal forma que la estación polínica comienza en marzo y finaliza en junio, apareciendo una serie de picos sucesivos de diferente intensidad y con una gran irregularidad de un año a otro. Se observa una importante fluctuación de las concentraciones medias diarias en los distintos años si bien hay que señalar que los años 1992, 1996, 2000, 2004 y 2006 los niveles registrados estuvieron por debajo de los promedios. Los picos máximos ocurren casi siempre en el mes de abril, con valores máximos alcanzados en los años 1999, 2001 y 2009, en los que se registraron 1.016, 1.189 y 1.184 g.p./m<sup>3</sup>

de media diaria en los días pico. Sin embargo, en los años 1992, 2000, 2010, 2012 y 2014, estos picos máximos se produjeron durante el mes de mayo, con un valor máximo de 420 g.p./m<sup>3</sup>. Cabe destacar, que sólo en los años 1997, 2005 y 2008, los días picos ocurrieron en el mes de marzo, en el que se registró un pico histórico de 1.578 g.p./m<sup>3</sup> en el año 1997 (Fig. 4.147).

#### 4.3.11.6. Periodo de Polinación Principal

La duración del periodo de polinación principal fue de 85 días como promedio y se caracterizó por presentar un patrón irregular durante los años estudiados (Tabla 4.111). El PPP de menor duración registrada durante el periodo de estudio se detectó en 2005 (54 días) y el de mayor duración en 2012 (143 días). Por otro lado, también se observaron variaciones en lo que se refiere al inicio y final del PPP. La fecha media del inicio se situó en el día 23-03 mientras la fecha de final tuvo lugar el 16-06 pero, de forma general, las fechas de inicio se registraron durante la segunda quincena del mes de marzo, excepto en los años 1999, 2005 y 2012, años en los que tuvieron lugar durante la primera semana de abril, mientras que las fechas de final no fueron muy estables, registrándose entre el 24-05 (año 2006) y el 25-08 (año 2012). La producción polínica durante el PPP ha oscilando entre un máximo de 8.798 (año 2005) y un mínimo de 1.570 (año 1996), registrándose un promedio de 4.637, como índices polínicos.

La fecha media del día pico del tipo polínico *Quercus* se sitúa en el día 18 de abril, considerando el conjunto de los años. Ésta se caracterizó por grandes variaciones de un año a otro, ocurriendo entre los meses de abril y mayo, aunque se observaron también algunas excepciones en los años 1997, 2000 y 2008 cuando se produjeron los picos máximos durante la última semana del mes de marzo. En lo que se refiere a las concentraciones registradas durante el día pico, se observa que los valores registrados fueron muy desiguales entre los distintos años, con valores que variaron entre un mínimo de 125 g.p./m<sup>3</sup> (año 1992) y un máximo de 1.578 g.p./m<sup>3</sup> (año 1997), obteniéndose un valor promedio de 524 g.p./m<sup>3</sup>.

Los periodos pre-pico del *Quercus* tuvieron una duración relativamente corta con una media de 25 días durante el periodo de estudio, oscilando entre un mínimo de 8 (año 2009) y un máximo de 48 (año 1992). Los índices polínicos registrados fluctuaron entre 373 (año 2000) y 4.226 (2005), con un valor medio de 1.507. Por otra parte, los periodos post-pico fueron más largos, pero tampoco fueron homogéneos durante los diferentes años, con una media de 60 días de duración. Asimismo, esos periodos variaron entre 21 y 104 días con índices polínicos variando entre 551 (año 1992) y 6.152 (año 2009), con un promedio de 3.129.

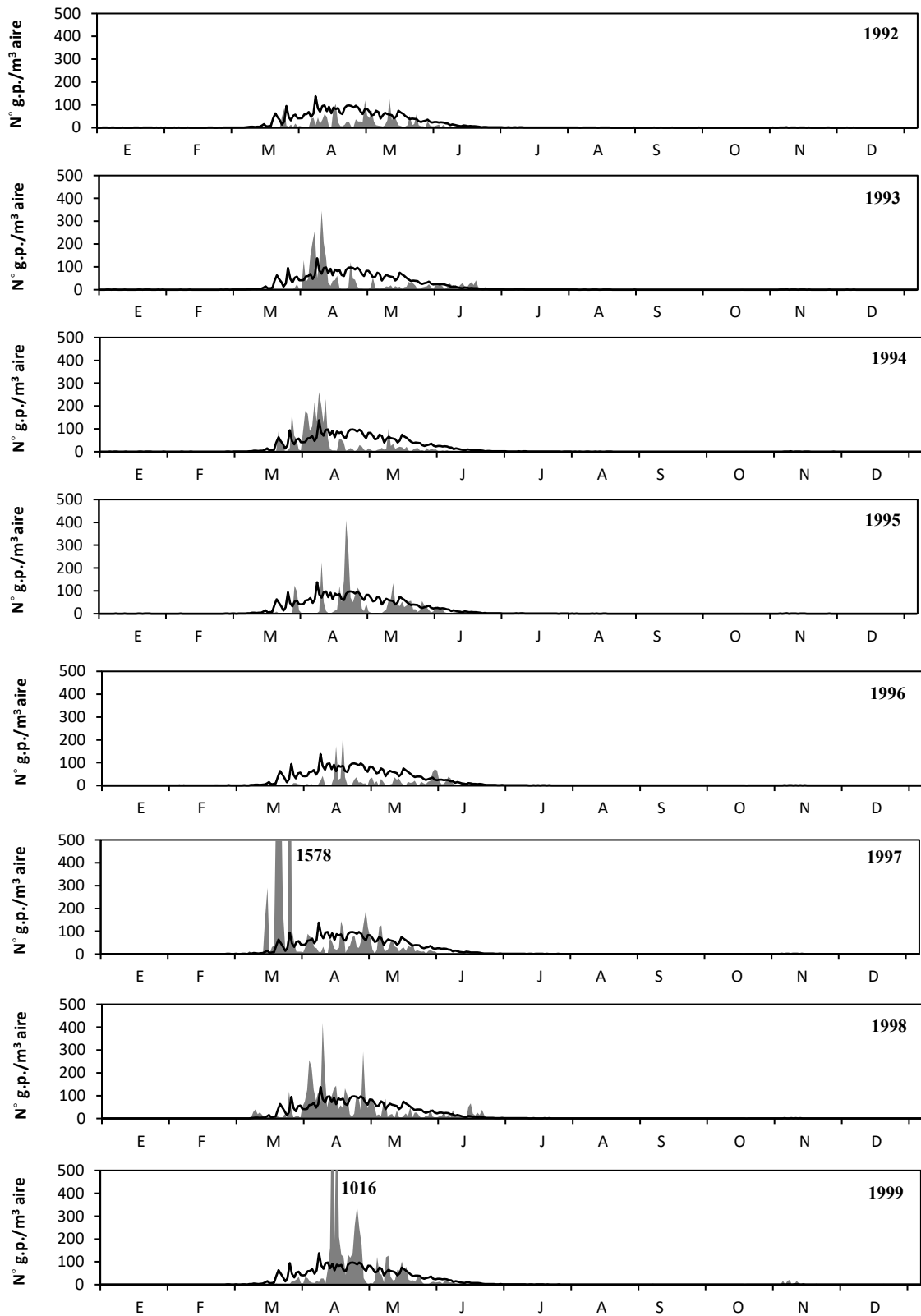


Figura 4.147. Concentraciones medias diarias de polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).



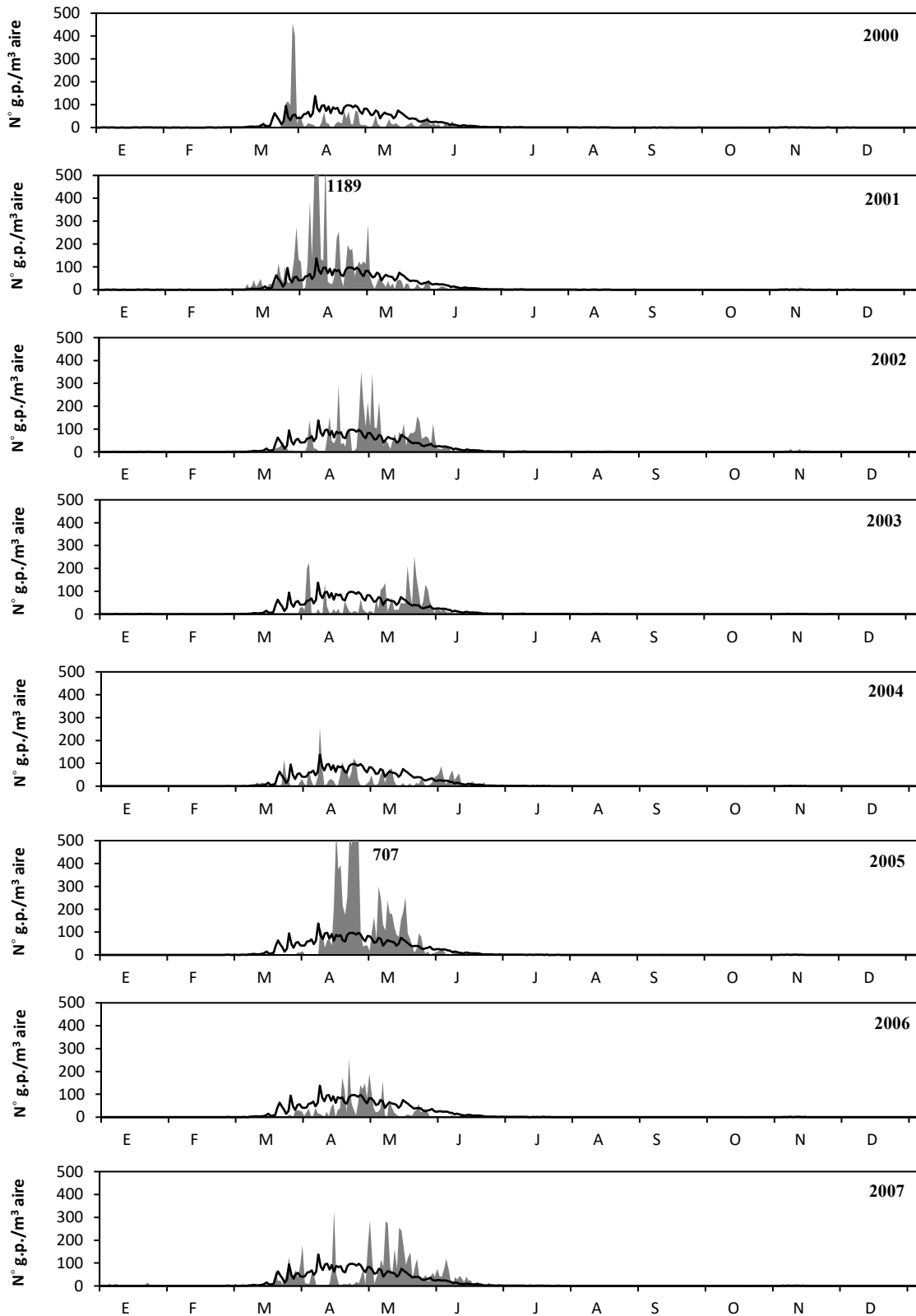


Figura 4.147. Continuación.

## Resultados

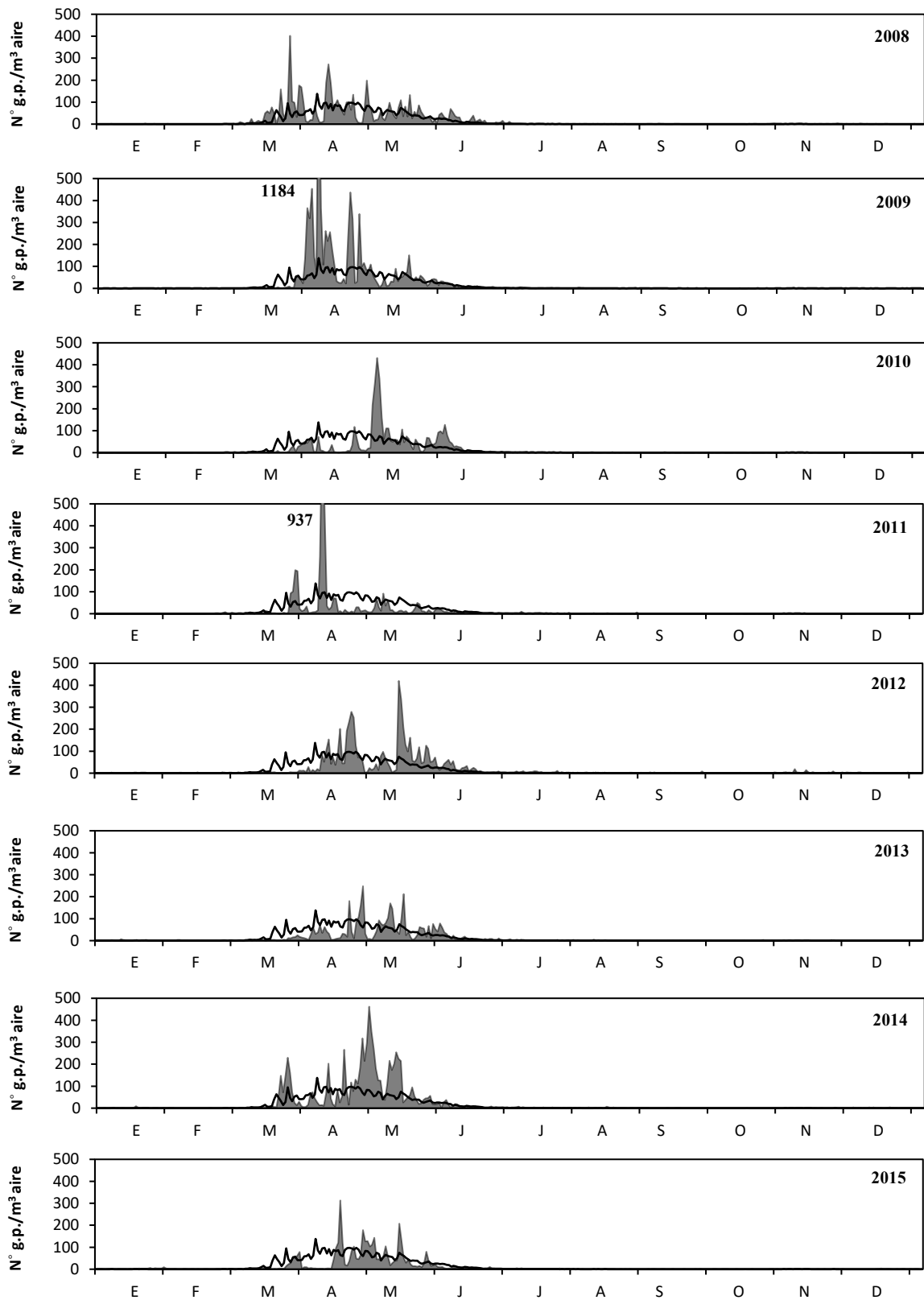


Figura 4.147. Continuación.

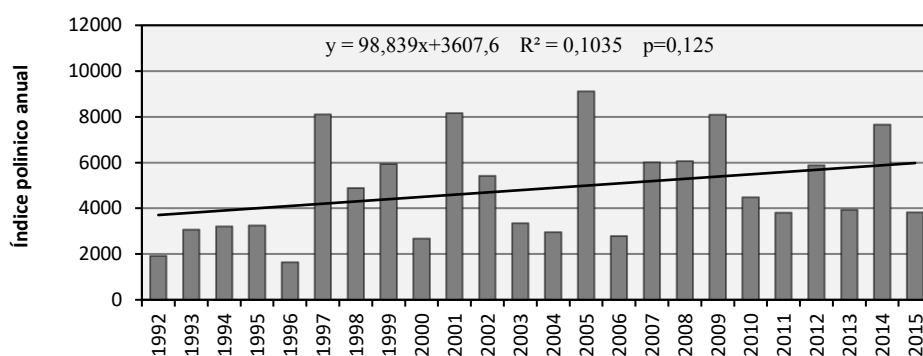
| Año       | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992      | 23-03 (82)/05-06 (156)  | 75       | 1.872         | 10-05 (130)     | 125                                    | 48       | 1.321         | 27        | 551           |
| 1993      | 31-03 (90)/18-06 (169)  | 80       | 2.953         | 09-04 (99)      | 346                                    | 9        | 1.002         | 71        | 1.951         |
| 1994      | 20-03 (79)/27-05(147)   | 69       | 3.106         | 07-04 (97)      | 261                                    | 18       | 1.487         | 51        | 1.619         |
| 1995      | 27-03 (86)/09-06 (160)  | 75       | 3.106         | 20-04 (110)     | 409                                    | 24       | 920           | 51        | 2.186         |
| 1996      | 20-02 (50)/11-06 (162)  | 113      | 1.570         | 17-04 (107)     | 225                                    | 57       | 439           | 56        | 1.131         |
| 1997      | 14-03 (73)/27-05 (147)  | 75       | 7.859         | 25-03 (84)      | 1.578                                  | 11       | 3.611         | 64        | 4.248         |
| 1998      | 11-03 (70)/16-06 (167)  | 98       | 4.670         | 08-04 (98)      | 419                                    | 28       | 1.410         | 70        | 3.260         |
| 1999      | 01-04 (91)/22-06 (173)  | 83       | 5.676         | 13-04 (103)     | 1.016                                  | 12       | 410           | 71        | 5.266         |
| 2000      | 15-03 (74)/06-06 (157)  | 84       | 2.548         | 28-03 (87)      | 455                                    | 13       | 373           | 71        | 2.175         |
| 2001      | 16-03 (75)/26-05 (146)  | 72       | 7.732         | 07-04 (97)      | 1.189                                  | 22       | 2.380         | 50        | 5.352         |
| 2002      | 22-03(81)/08-06 (160)   | 80       | 5.192         | 26-04 (116)     | 350                                    | 35       | 1.512         | 45        | 3.680         |
| 2003      | 30-03 (89)/10-06 (160)  | 72       | 3.230         | 20-05 (140)     | 254                                    | 51       | 2.176         | 21        | 1.054         |
| 2004      | 12-03 (71)/20-06 (160)  | 89       | 2.813         | 07-04 (97)      | 255                                    | 26       | 454           | 63        | 2.359         |
| 2005      | 08-04 (97)/31-05 (149)  | 53       | 8.798         | 24-04 (106)     | 707                                    | 9        | 4.226         | 44        | 4.572         |
| 2006      | 27-03 (86)/24-05 (144)  | 59       | 2.684         | 20-04 (110)     | 256                                    | 24       | 780           | 35        | 1.904         |
| 2007      | 18-03 (77)/16-06 (167)  | 91       | 5.735         | 14-04 (104)     | 332                                    | 27       | 1.040         | 64        | 4.695         |
| 2008      | 15-03 (74)/25-06 (176)  | 103      | 5.794         | 26-03 (85)      | 402                                    | 11       | 645           | 92        | 5.149         |
| 2009      | 30-03 (88)/14-06 (167)  | 80       | 7.720         | 07-04 (97)      | 1.184                                  | 8        | 1.568         | 63        | 6.152         |
| 2010      | 28-03 (87)/23-06 (174)  | 88       | 4.277         | 02-05 (123)     | 431                                    | 36       | 1.339         | 52        | 2.938         |
| 2011      | 26-03 (84)/23-06 (174)  | 90       | 3.631         | 10-04 (100)     | 937                                    | 15       | 975           | 75        | 2.656         |
| 2012      | 05-04 (95)/25-08 (237)  | 143      | 5.597         | 14-05 (134)     | 420                                    | 39       | 2.738         | 104       | 2.859         |
| 2013      | 25-03(84)/08-07 (189)   | 106      | 3.745         | 28-04 (118)     | 248                                    | 34       | 1.233         | 72        | 2.512         |
| 2014      | 22-03 (81)/16-06 (167)  | 87       | 7.342         | 30-04 (119)     | 462                                    | 39       | 3.495         | 48        | 3.847         |
| 2015      | 15-03 (74)/24-06 (175)  | 102      | 3.633         | 19-04 (108)     | 313                                    | 35       | 645           | 67        | 2.988         |
| 1992-2015 | 23-03 (82)/16-06(167)   | 86       | 4.637         | 18-04 (107)     | 524                                    | 26       | 1.507         | 60        | 3.129         |

Tabla 4.111. Indicadores del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).

## 4.3.11.7. Estudio de tendencias

## ▪ Índice polínico anual

En la figura 4.148 se observa que la producción polínica de *Quercus* presenta un patrón irregular con registros que varían de un año a otro. Los resultados del análisis de la dinámica de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga muestran que los índices polínicos anuales presentan una tendencia positiva pero estadísticamente no significativa, describiendo una trayectoria ascendente en el periodo analizado, tanto con el estudio de regresión como con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=0,261$ ;  $p=0,079$ ) (Tabla 4.112). Por otra parte, si tenemos en cuenta el parámetro pendiente de *Sen*, se observa que la evolución de los registros polínicos de *Quercus* ha sido de signo positivo, con un valor de dicho parámetro igual a 90,44.



**Figura 4.148.** Evolución del índice polínico anual del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,261             | 0,079 | 90,44            |

**Tabla 4.112.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Quercus*, en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

▪ Niveles del polen de *Quercus*

En la tabla 4.113, se muestran la evolución durante los 24 años estudiados del número de días, teniendo en cuenta los diferentes niveles de las concentraciones de polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga, según la categoría del grupo 4 establecido por la REA (Galán et al., 2007). Asimismo, se observa que los días con niveles nulos ( $<1$  granos de polen/ $m^3$ ) ha fluctuado entre los 135 y los 318 días, con un valor medio de 214 días ( $\pm 44$ ). Por otra parte, los niveles bajos, es decir entre 1-50 granos de polen/ $m^3$  presentaron una media de 127 ( $\pm 38$ ). Para las categorías de niveles moderadas y altos, se observa un porcentaje de variación alto, con valores que oscilaron entre 40% y 81 % durante el periodo 1992-2015. De hecho, se puede ver que los números de días con 50-200 granos de polen/ $m^3$  tuvieron 38 días como máximo y 4 días como mínimo por lo que la media obtenida fue de 20 días. En el caso de días con niveles superiores a 200 granos de polen/ $m^3$  se obtuvo una media de 5 días y un máximo de 15 días a lo largo de todo el periodo.

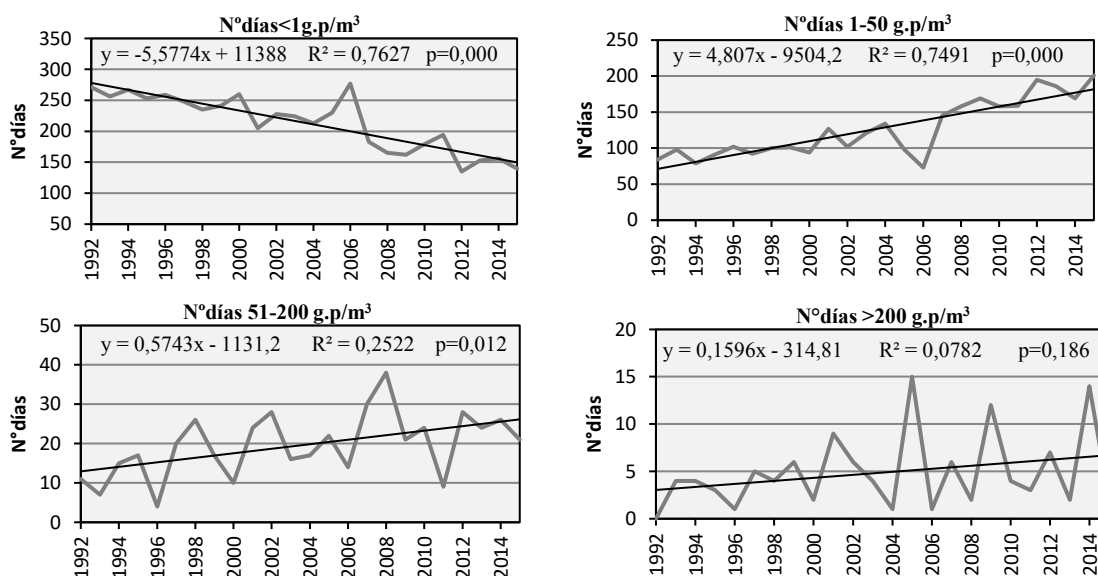
| Niveles                            | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|------------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | 135    | 277    | 214   | 44           | 20,6   |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 73     | 201    | 127   | 38           | 30,3   |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 4      | 38     | 20    | 8            | 40,5   |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 15     | 5     | 4            | 81,0   |

**Tabla 4.113.** Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

El análisis estadístico de la tendencia del nº de días por niveles de polen muestra una tendencia negativa y significativa en el nivel “sin granos de polen” (<1 granos de polen/m<sup>3</sup>). Sin embargo, en el caso del nº de días de la categoría 1-50 granos/m<sup>3</sup>, se obtuvo una tendencia positiva y estadísticamente significativa, lo cual indica un aumento en el número de estos días con el nivel considerado en la atmósfera de Málaga. Igualmente se obtuvo una tendencia al alza en el caso de los niveles 51-200 granos de polen/m<sup>3</sup> y superiores a 200 granos de polen/m<sup>3</sup> que fue significativo sólo en el primer caso (Tabla 4.114, Fig. 4.149).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |         | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|---------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.    | Q                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,703            | <0,0001 | -5,65            |
| Nº días 1-50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,708             | <0,0001 | 4,81             |
| Nº días 51-200 g.p./m <sup>3</sup> | 0,357             | 0,017   | 0,57             |
| Nº días >200 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,155             | 0,316   | 0,09             |

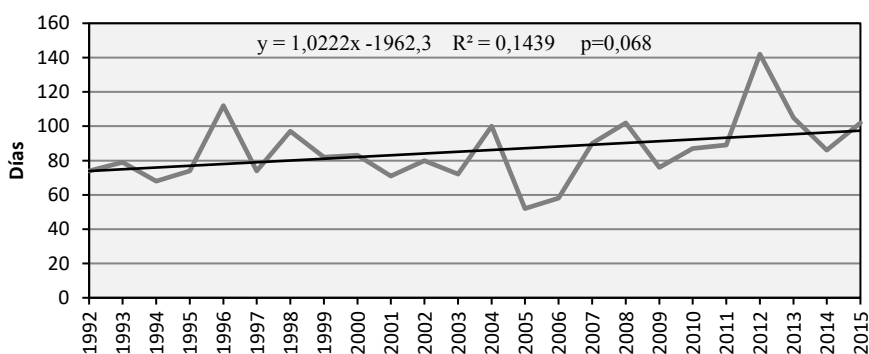
**Tabla 4.114.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Quercus*, en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.149.** Evolución del número de días en los que se registraron distintos niveles de concentraciones del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

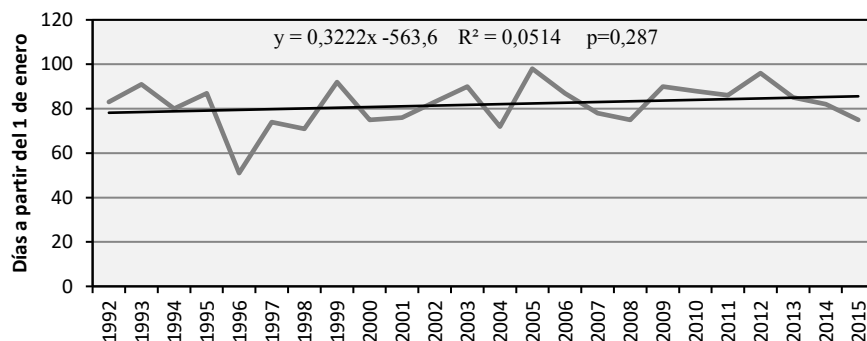
### ▪ Parámetros del PPP

La figura 4.150 muestra la evolución de la **duración del periodo de polinación principal** del polen de *Quercus* a lo largo de los 24 años de estudio. De hecho, se puede observar una tendencia positiva y estadísticamente significativa, lo que indica un alargamiento de la duración del PPP de este tipo polínico, si tenemos en cuenta los resultados del test *Mann-Kendall* ( $Z=0,299$ ,  $p=0,044$ ), en contra de los resultados de la regresión lineal con ausencia de un coeficiente de determinación significativo. También, se observa que este periodo varía entre 53 y 143 días, mostrando un promedio de 86 ( $\pm 18$  días). El porcentaje de variación de la duración de PPP ha sido elevado, con un valor del 21%. La tendencia observada viene explicada por la pendiente de *Sen* con un valor positivo igual a 0,87 (Tabla 4.115).



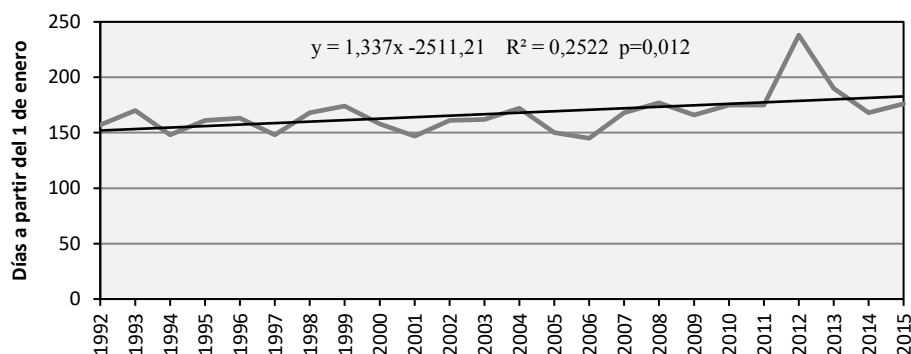
**Figura 4.150.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El **inicio del PPP** del tipo polínico *Quercus* muestra una pendiente positiva pero no significativa ( $Z=0,095$ ,  $p=0,534$ ) (Tabla 4.115), lo cual indica una tendencia al retraso del comienzo de la estación polínica. La fecha media de inicio fue el 03 de marzo ( $82 \pm 10$  días). Ésta ha variado entre el día 20-02 (50) y el día 08-04 (98) por lo que el porcentaje de variación fue relativamente bajo, con un valor igual a 12% durante el periodo estudiado. La prueba de estimación de la pendiente de *Sen* presentó un valor de signo positivo igual a 0,22 (Fig. 4.151).



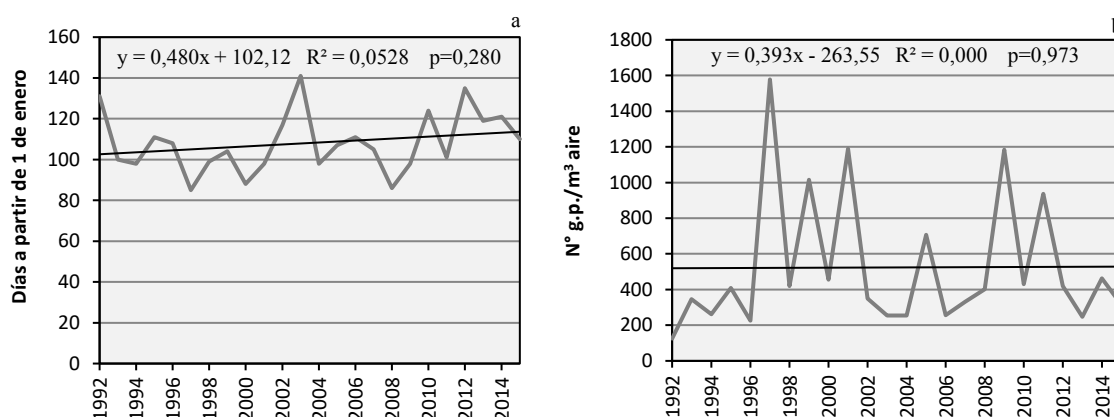
**Figura 4.151.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Del mismo modo, se observó una tendencia positiva (Fig. 4.152), además de estadísticamente significativa, en lo que la **fecha del final del PPP** se refiere, indicando una tendencia al retraso del *Quercus* ( $Z=0,410$ ,  $p=0,006$ ). De hecho, este tipo polínico presentó fechas de final de la estación oscilando entre los días 24-05 (144) y 25-08 (237) con un promedio de  $167\pm 18$  días, presentando un coeficiente de variación igual al 11%. La dinámica del final de PPP tuvo un valor de pendiente de *Sen* igual a 1 (Tabla 4.115).



**Figura 4.152.** Evolución y tendencia del final del PPP de polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En lo que se refiere a la **fecha del día pico**, se observa una ligera tendencia positiva a retrasarse, si bien ésta no es significativa ( $Z=0,172$ ,  $p=0,252$ ) (Tabla 4.115). La fecha media se sitúa en el día 18 de abril ( $108\pm 14$ ) con un valor del coeficiente de variación del 13%. En lo que se refiere al **valor pico**, no se pudo destacar ningún patrón que caracterizara el comportamiento de los máximos registrados por este tipo polínico durante los 24 años de estudio, ya que se obtuvo un valor de coeficiente de determinación  $R^2=0$ , así como un porcentaje de variación muy alto del 70% (Fig. 4.153).



**Figura 4.153.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del polen de *Quercus* (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Parámetros   | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | 0,095             | 0,534 | 0,22             |
| Final PPP    | 0,410             | 0,006 | 1                |
| Duración PPP | 0,299             | 0,044 | 0,87             |
| Día pico     | 0,172             | 0,252 | 0,51             |
| Valor pico   | 0,109             | 0,477 | 3,53             |

**Tabla 4.115.** Resumen de los resultados del análisis del test de *Mann-Kendall* y la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.11.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

Durante el PPP se obtuvieron coeficientes de correlación significativos y positivos con la velocidad media del viento, el porcentaje del viento del cuarto cuadrante, las horas de sol y la temperatura máxima cuando se incluyeron todos los años conjuntamente. Por otra parte, aparecen coeficientes de correlación significativos y negativos con la precipitación, la humedad relativa, la calma y con el porcentaje del viento del primer y segundo cuadrante.

Al dividir el periodo del PPP en periodos de pre y post-pico, se aumenta el número de coeficientes de correlación significativos obtenidos. Durante el pre-pico se observó un patrón similar al que se describió anteriormente para el PPP ya que las temperaturas mostraron correlaciones positivas y significativas. Se obtuvo coeficientes de correlación significativos y negativos con las precipitaciones y la humedad relativa mientras con el parámetro horas de sol, los coeficientes de correlación fueron significativos y positivos. Con la dirección del viento, aparece un patrón similar al observarlo para el PPP.

En cuando al periodo post-pico, se observó la misma pauta en lo que se refiere al comportamiento de las temperaturas (máxima, media, mínima) a la ya comentada anteriormente con otros tipos polínicos, con coeficientes negativos y significativos. Del mismo modo, apareció un comportamiento similar al del PPP completo para los porcentajes de viento de segundo y cuarto cuadrante con coeficientes de correlación significativos y negativos en el primer caso y positivos en el segundo. También, se observaron correlaciones similares al las del PPP tanto con la precipitación, las horas de sol, la humedad relativa, la velocidad media del viento y las calmas (Tabla 4.116).

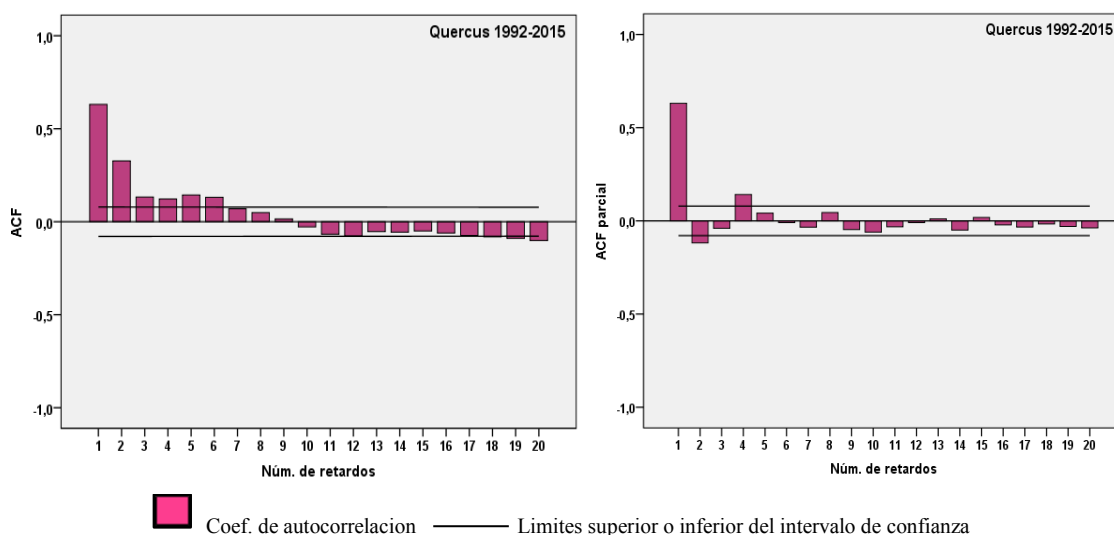
#### 4.3.11.9. Análisis de autocorrelaciones

En la figura 4.154 se muestra que el análisis de autocorrelaciones indica que siete retardos presentan coeficientes de correlaciones significativos, pero mostraron un descenso paulativo en cuanto a los valores de los coeficientes. Al realizar las autocorrelaciones parciales, se observa que el número de retardos significativos se redujo a dos, siendo el retardo 1 (la concentración del día previo) el que mostró un coeficiente de correlación más significativo, por lo cual se optó por incluirlo como variable independiente en el estudio de los modelos de pronósticos.



|                          | PPP<br>N=2077 | Pre-pico<br>N=637 | Post-pico<br>N=1440 |
|--------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,162*       | -0,223*           | -0,136*             |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | 0,093*        | 0,544***          | -0,097*             |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | 0,034         | 0,484**           | -0,181*             |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | -0,053        | 0,241**           | -0,251**            |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,268**      | -0,411**          | -0,188*             |
| <b>Horas de Sol</b>      | 0,136*        | 0,304**           | 0,054*              |
| <b>V. med viento</b>     | 0,271*        | 0,312**           | 0,251*              |
| <b>% Vto. 1°C.</b>       | -0,064*       | -0,117*           | -0,030              |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,244**      | 0,347***          | -0,248**            |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | -0,032        | 0,022             | -0,033              |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,255*        | 0,377***          | 0,252*              |
| <b>Calma</b>             | -0,153*       | -0,179*           | -0,140*             |

**Tabla 4.116.** Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .



**Figura 4.154.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.3.11.10. Modelos de pronóstico

El análisis de regresión múltiple por pasos para tratar de predecir el valor de las concentraciones medias diarias de polen de *Quercus* en función de las 12 variables meteorológicas utilizadas (variables independientes) ofrece 3 modelos con coeficientes de determinación bajos (Tabla 4.117), aunque todos ellos significativos. En el primer paso, se incluye la temperatura máxima obteniéndose una ecuación de regresión lineal simple con un  $R^2=0,112$ . En el segundo paso, el modelo mejora al incluirse la velocidad media del viento. También mejora el modelo de pronóstico en el tercer paso, al incorporarse las horas de sol. De este modo, el conjunto de las tres variables independientes, llegan a obtener un valor del coeficiente de determinación de 0,138.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos                         | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1a     | Que= 10,509 T <sup>a</sup> max -167,946                          | 0,112          | 0,000 |
| 2a     | Que= 9,699 T <sup>a</sup> max+2,998 Vel.med.vt -190,901          | 0,133          | 0,000 |
| 3a     | Que= 8,772 T <sup>a</sup> max+2,983 Vel.med.vt+2,452 H.S-191,238 | 0,138          | 0,000 |

**Tabla 4.117.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* durante en el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).

Cuando se incluyó, en el proceso de regresión múltiple por pasos, la concentración del día anterior (Que<sub>t-1</sub>) y la D-media como variables independientes, se obtuvieron como resultados tres modelos diferentes estadísticamente significativos, y presentando un mejor ajuste. En el primer paso se incorpora la concentración del día anterior al modelo como única variable independiente, llegándose a un valor de  $R^2=0,465$ . En el segundo paso, el modelo muestra una mejora tras incluir también la temperatura máxima. Con el último paso, se introduce una tercera variable independiente, la velocidad media del viento, obteniéndose el mayor valor del coeficiente de determinación, de 0,525 (Tabla 4.118).

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1b     | Que= 0,721 Que <sub>t-1</sub> +19,564  | 0,465          | 0,000 |
| 2b     | Que= 0,682 Que <sub>t-1</sub> +7,212 T <sup>a</sup> max-132,561                  | 0,516          | 0,000 |
| 3b     | Que= 0,672 Que <sub>t-1</sub> +6,763 T <sup>a</sup> max+1,835 Vel.med.vt-147,109 | 0,525          | 0,000 |

**Tabla 4.118.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos para las concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-medio y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1992-2015).

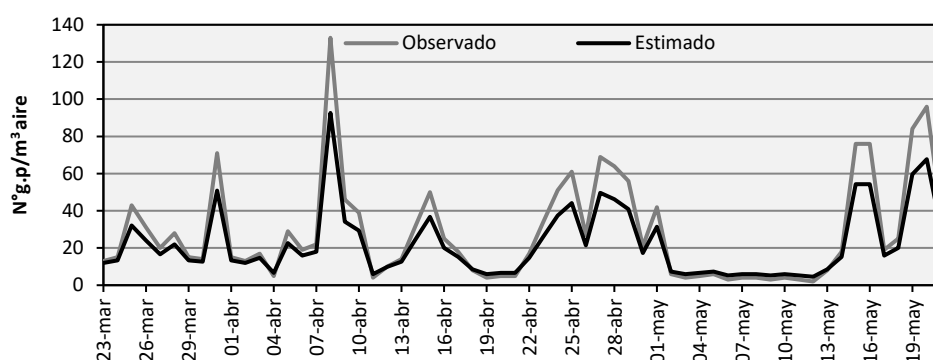
#### ▪ Validación del mejor modelo

La figura 4.155 muestra el resultado de la validación del mejor modelo de pronóstico (modelo 3b) obtenido en el apartado anterior. Asimismo, se observa un alto grado de asociación entre las concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* (observado) durante el pre-pico del año 2016 y las mismas estimadas mediante la ecuación de regresión. Al realizar la prueba de *Spearman*, se muestra que existe una alta correlación entre ambas series de datos ( $r=0,829$ ). Por otro lado, se realizó un análisis de *Wilcoxon* para comparación de los promedios entre los recuentos de polen de *Quercus* durante el pre-pico del año 2016 y los esperados por el modelo de

pronóstico con alto coeficiente de determinación. El resultado obtenido valida la alta asociación significativa ya que se muestra no existen diferencias significativas entre ambas series de datos (Tabla 4.119).

|   | <i>Spearman</i> Test |       | <i>Wilcoxon</i> Test |         |        |       |
|---|----------------------|-------|----------------------|---------|--------|-------|
|   | r                    | p     | Rango +              | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 3b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,829                | 0,000 | 18                   | 41      | -4,622 | 0,610 |

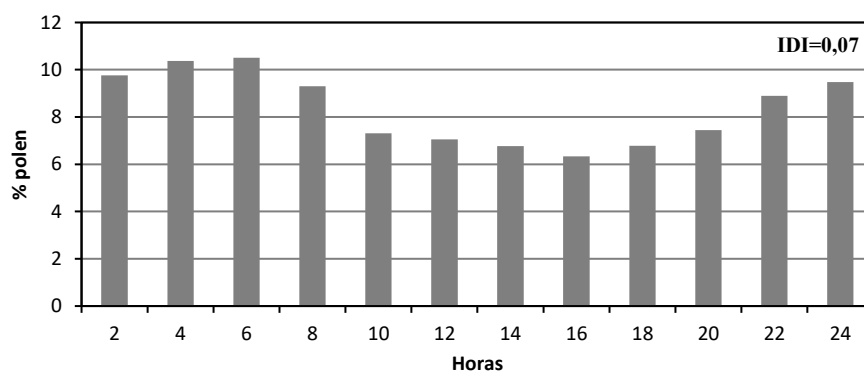
**Tabla 4.119.** Coeficientes de correlación de *Spearman* y comparación de los promedios mediante el test de *Wilcoxon* entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.



**Figura 4.155.** Concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 3b de la ecuación de regresión.

#### 4.3.11.11. Variación intradiaria

La variación intradiaria promediada muestra un patrón regular sin grandes altibajos a lo largo de las 24 horas del día (Fig. 4.156). De hecho, se observa un ligero aumento de los niveles del polen de *Quercus* durante la madrugada y una pequeña disminución entre las 10:00 y las 16:00 horas. El valor del IDI obtenido durante el periodo 1992-2015 fue bajo, igual a  $0,07 \pm 0,02$ .



**Figura 4.156.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

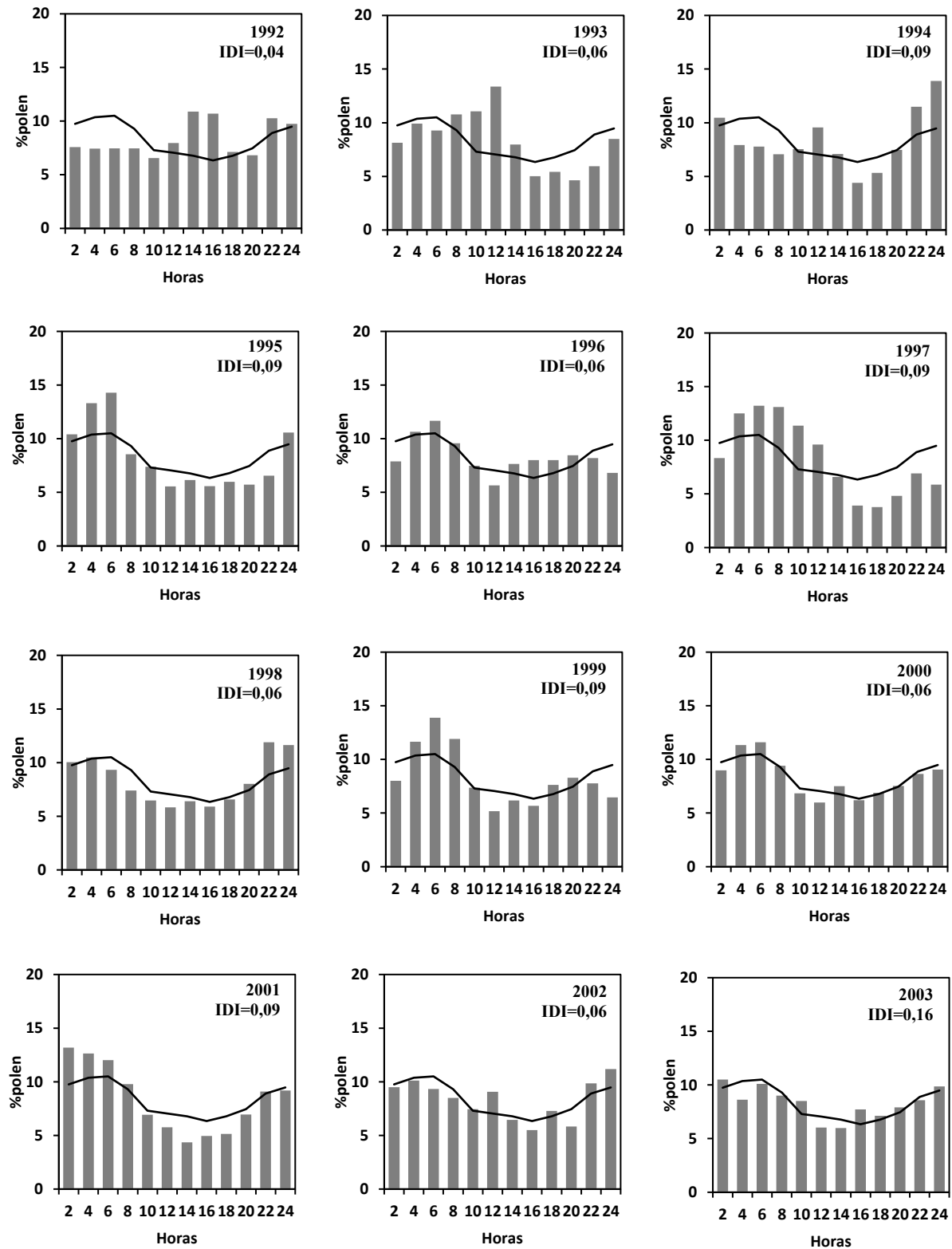
Los patrones intradiarios del polen de *Quercus* no presentaron un comportamiento estable a lo largo de los distintos años (Fig. 4.157). En los años 1992, 1993, 1994, 2002, 2013, y 2014 se obtuvieron picos en torno del mediodía. Los índices de distribución intradiaria de este tipo polínico fueron bajos. Los valores más altos del IDI correspondieron a los años 2011 (0,13) y 2005 (0,10), con picos máximos que superaron el 16% del total medio diario durante la madrugada en el año 2011, y del 14% a las 6:00-8:00 en el año 2005. Por otra parte, los valores más bajos del IDI correspondieron a los años 2012 y 2013 (0,03).

### 4.3.11.12. Discusión

El polen de *Quercus* es uno de los tipos polínicos que mayor incidencia presenta en la atmósfera de Málaga, ya que ocupa la cuarta posición en orden de abundancia, con el 14,28% del polen total y un índice polínico anual medio de 4.839, siendo los meses de marzo, abril y mayo aquéllos en los que se detectaron las mayores concentraciones polínicas durante el periodo estudiado. El género *Quercus* está representado en España por 13 taxones nativos, incluidas especies y subespecies (Pérez-Badia *et al.*, 2013), que forma parte de la vegetación natural en la mayoría de los ecosistemas españoles. De hecho, el tipo polínico *Quercus* aparece en la atmósfera de todas las localidades españolas consultadas, si bien los niveles varían de unos puntos a otros. Así, los niveles más bajos se registran en Vigo y Cartagena con índices polínicos anuales inferiores a 1.000 (Rodríguez-rajo *et al.*, 2004; Moreno-Grau *et al.*, 2002) mientras los más elevados corresponden a Cáceres, con índices polínicos anuales que superan los 25.000 (Paulino *et al.*, 2002). En otros países europeos, los índices polínicos registrados han sido variables, así se registraron niveles polínicos superiores a 1.000 en Polonia (Weryszko-Chmielewska *et al.*, 2006; Grewling *et al.*, 2014), Reino Unido (Corden & Millington 1999), Bélgica y Holanda (Spieksma *et al.*, 2003).

La variación estacional de este tipo polínico se caracteriza por la aparición de un gran número de picos de concentración media diaria de diferentes intensidades (Fig. 4.145). Algunos autores ponen de manifiesto el hecho de que los picos consecutivos que se detectan se deben al transporte de polen desde cierta distancia, provenientes de la floración secuencial causada por la altitud, de las especies presentes en zonas más lejanas del lugar de muestreo que forman parte de la vegetación natural de bosques y matorrales (Recio *et al.*, 1999; Hernández-Ceballos *et al.*, 2011a; Rojo *et al.*, 2015). Cabe destacar las diferencias encontradas en los índices polínicos anuales de un año a otro, tienden a mostrar una alternancia bianual de producción de polen, aunque, en nuestro caso, con algunas interrupciones (Fig. 4.148).

El carácter bianual de producción de flores atribuido al género *Quercus* ha sido observado por numerosos autores (Andersen, 1980; Emberlin *et al.*, 1990; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2000; Spieksma *et al.*, 2003). En cambio, García-Mozo *et al.* (1999) puso de manifiesto que en las ciudades situadas de la mitad Sur de la Península Ibérica, la escasa cantidades de precipitación pudo ser la causa de la no observación de este patrón.



**Figura 4.157.** Variación intradiaria del polen de *Quercus* para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

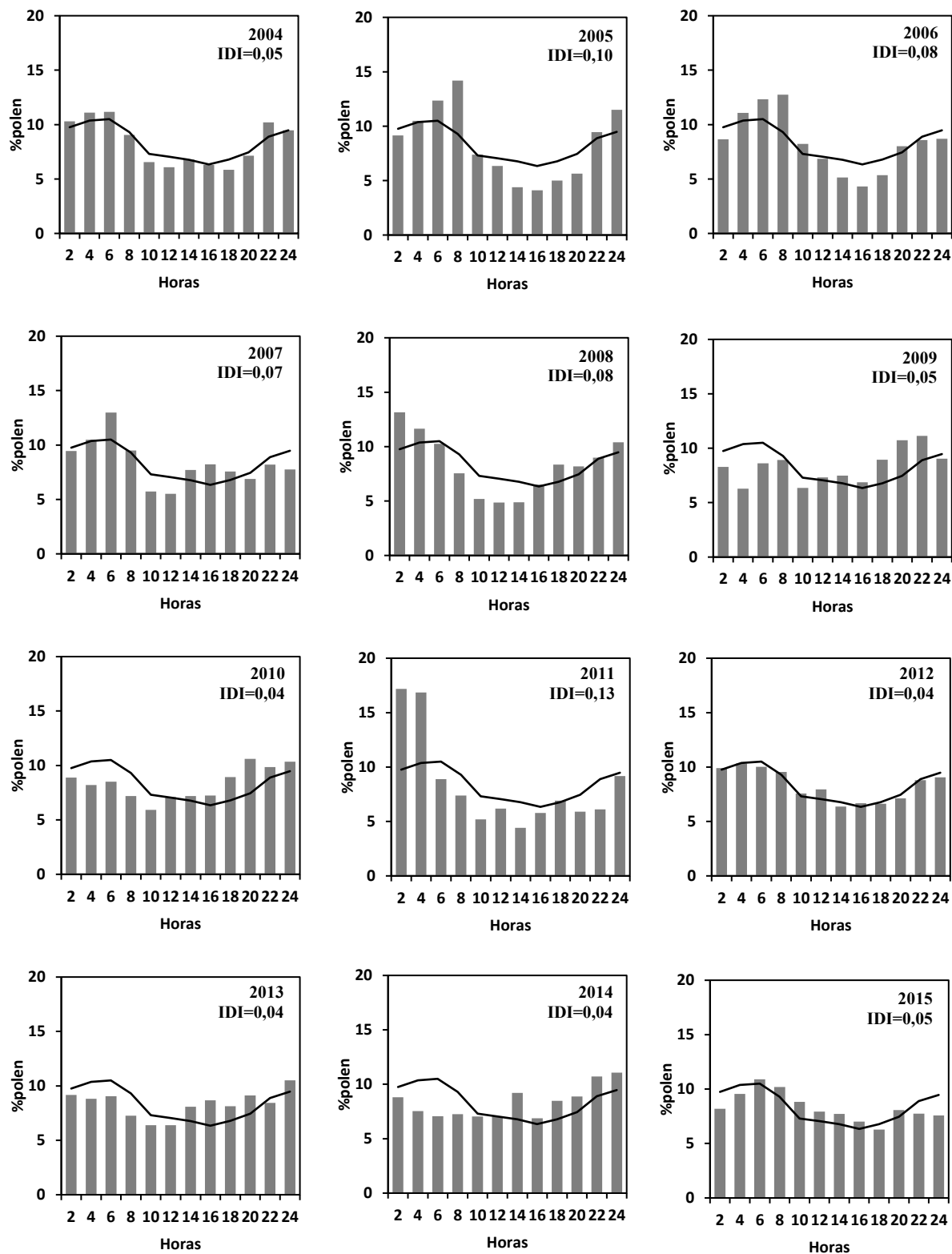


Figura 4.157. Continuación.



En nuestro estudio, se ha observado una cierta tendencia al aumento no significativo de los índices polínicos anuales del polen de *Quercus* durante el periodo estudiado. Respecto a otros estudios, Galán *et al.* (2016) observó esta misma tendencia en otras localidades de la región Mediterránea como Córdoba, Jaén y Granada durante el periodo 1994-2013. Algunos autores han utilizado el polen de *Quercus* como bioindicador del cambio climático (Gómez-Casero *et al.*, 2007; Tormo-Molina *et al.*, 2010). El estudio de la influencia del calentamiento global sobre la fenología de las especies de *Quercus* es muy relevante debido a su dependencia de la temperatura y su distribución geográfica en la zona mediterránea considerada como de alto riesgo (García-Mozo *et al.*, 2002, 2006, 2008).

En nuestra área de estudio y durante el periodo estudiado (1992-2015), se ha observado una tendencia significativa de alargamiento de la estación polínica de *Quercus* en la atmósfera de Málaga. Por otra parte, hemos observado un retraso tanto en la fecha de inicio como el final del PPP de este tipo polínico. Sin embargo, desde el punto de vista estadístico, sólo hemos obtenidos una tendencia significativa en lo que se refiere al final de la estación, mientras que no fue para la fecha de inicio. Un comportamiento similar en cuanto al retraso tanto en el comienzo como en el final del PPP, se observó en las localidades de noroeste de la Península Ibérica, como Ourense, Lugo y Vigo (Jato *et al.*, 2015) y también en oeste, como ocurriera en la localidad de Badajoz (Fernández-Rodríguez *et al.*, 2016). Sin embargo, un adelanto en la fecha de inicio de PPP de *Quercus* se puso de manifiesto en España por García-Mozo *et al.* (2006) y Shea *et al.* (2008). Por lo general, se ha demostrado que la especie que florecen a comienzos de primavera necesitan acumular una cantidad determinada de calor antes de florecer (Heide, 1993; Frenguelli & Bricchi, 1998). En un trabajo llevado a cabo por García-Mozo *et al.* (2002) se observó que para cada localidad de la Península Ibérica se requerían umbrales diferentes de acumulación de calor necesarios para el comienzo de la estación polínica de *Quercus*, dependiendo de las diferentes zonas climáticas, por lo que se puede confirmar que el clima puede ser relevante para la determinación del inicio de una estación polínica.

En cuando a las fechas de las concentraciones máximas (día pico), éstas mostraron una tendencia al retraso, pero cabe mencionar que se observaron grandes variaciones interanuales a lo largo de los 24 años, tanto en las fechas como en las concentraciones máximas diarias alcanzadas. En un estudio fenológico sobre el género *Quercus*, se observó que los periodos prolongados de sequía producen un debilitamiento del árbol, traducido en pérdida de hojas, disminución del crecimiento vegetativo y, por tanto, de la posibilidad de formación de yemas florales y vegetativas (Cabezudo *et al.*, 1993; Pérez Latorre *et al.*, 1996; Navarro & Cabezudo, 1998). Por otra parte, en un trabajo llevado a cabo en Málaga capital, Recio *et al.*, (1999) pusieron de manifiesto que las lluvias otoñales del año 1996 repercutieron directamente en una producción masiva de yemas florales (1997) y, por tanto, de polen, observándose un adelanto en la floración producido por condiciones óptimas de temperatura. Aunque en estudios anteriores, García-Mozo *et al.* (2002, 2006) describió el importante papel que la temperatura tiene sobre la determinación de la fecha de inicio de la floración y además de la fecha del día pico. Parece que, en nuestra área de estudio, el patrón irregular que muestran las precipitaciones podría tener un efecto más importante sobre el comportamiento observado de la estación polínica de *Quercus*, tal como se ha descrito en otras localidades de la región mediterránea (Cariñanos *et al.*, 2004).

Por lo que se refiere a los resultados del análisis de correlación. Se observó que casi siempre se han obtenido correlaciones significativas y positivas con la velocidad del viento y negativas con la frecuencia de calmas (Tabla 4.116). Por otro lado, los coeficientes significativos que se obtuvieron fueron siempre positivos con los vientos del cuarto cuadrante (NO), procedentes de zonas interiores y negativos con los vientos del segundo cuadrante (SE), que soplan desde el mar. Las precipitaciones y la humedad relativa mantienen una correlación negativa con la concentración polínica durante el periodo pre- y post-pico. Las temperaturas (máxima, media, mínima) muestran una correlación significativa y positiva con la concentración polínica durante el pre-pico mientras que se tornaron negativas durante el post-pico. La correlación positiva de las temperaturas ha sido descrita por otros autores, posicionando este parámetro junto con las horas de sol como unas de las variables meteorológicas que más influye sobre la concentración polínica (Recio *et al.*, 2000; García-Mozo *et al.*, 2002, 2006, 2008, 2010; Jato *et al.*, 2002, 2007). Durante el periodo post-pico, las concentraciones tienden a disminuir, mientras que las temperaturas continúan aumentando, de allí los coeficientes de correlación negativos obtenidos.

El polen de *Quercus* presentó un modelo de variación intradiaria bastante homogéneo en Málaga durante el periodo 1992-2015, observándose un ligero incremento de las concentraciones durante la noche, hacia la madrugada, debido a la mayor frecuencia de los vientos procedentes del noroeste durante la noche, favorecido por la contrabrisa polen desde las zonas interiores hacia la costa, lo que ya fue descrito por Recio *et al.* (1999). Un comportamiento parecido se ha detectado en Córdoba (Hernández-Ceballos *et al.*, 2015), Toledo (Pérez-Badía *et al.*, 2010b), Nerja (Docampo, 2008) y Motril (Nieto-Lugilde, 2008). Sin embargo, en Estepona, la localidad costera cercana a Málaga capital, no se observó este comportamiento ya que las mayores concentraciones tuvieron lugar durante la tarde (Toro, 1997), probablemente debido a la proximidad de las zonas montañosas a la localidad en cuestión.

Los análisis de regresión múltiple por pasos obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Quercus* durante el periodo pre-pico, introduciendo las 12 variables meteorológicas, muestran de las variables independientes temperatura máxima, velocidad del viento y horas de sol son las que mejor explican la variabilidad de las concentraciones de polen. Sin embargo, al incluir otras variables como la concentración del día anterior ( $Q_{t-1}$ ), resultó que tan sólo con dicha variable, se obtuvo un modelo de regresión lineal que incrementó notablemente la fiabilidad de mismo (Tabla 4.118), resultando el mejor modelo el que incluye como variables predictoras la concentración del día previo, la temperatura máxima y la velocidad media del viento. Al realizar la validación de este modelo mediante el test de correlación de *Spearman*, se obtuvo un coeficiente altamente significativo. Esto coincide con los resultados obtenidos de la prueba de *Wilcoxon* revelando que no encontramos diferencias significativas entre los valores esperados y observados, de hecho, podemos afirmar que es un buen modelo de predicción de las concentraciones medias diarias del polen de *Quercus* para Málaga, durante el periodo pre-pico.

Por lo que se refiere a la evaluación del patrón relativo al número de días con diferentes niveles de polen, se observó que hay una disminución significativa de los días sin granos de polen. Por otra parte, hay un aumento significativo de los días con niveles bajos y moderados en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.149). Esto podría explicar el aumento observado de los índices polínicos del tipo

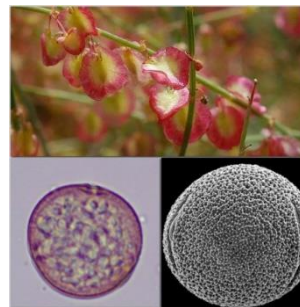


polínico *Quercus* durante el periodo estudiado, pero también puede servir como un indicador de aviso de precaución para las personas alérgicas.

El polen de *Quercus* es considerado como causa de polinosis en Europa (Egger *et al.*, 2008; Jato *et al.*, 2015) y también en India (Bist *et al.*, 2005). Sin embargo, a pesar de su frecuencia en la atmósfera, su incidencia en la población no es muy elevada (Ickovic & Thibaudon, 1991; Bartra *et al.*, 2004) razón por la cual está clasificado como alérgeno moderado (Lewis *et al.*, 1983), causando sintomatología sólo cuando aparece en la atmósfera concentraciones elevadas (Linskens & Cresti, 2000). En España, la prevalencia de este tipo polínico es sólo del 2% en Jaén (Peralta, 1998), el 3,5% en Mérida (Prados *et al.*, 1995), el 7,5% en Málaga (Torrecillas *et al.*, 1998), el 14% en Madrid (Subiza *et al.*, 1995), el 18% en Burgos (Carretero *et al.*, 2005) y el 21% en Extremadura (Cosmes Martín *et al.*, 2005), no hallándose en ninguno de los casos pacientes monosensibles. Sin embargo, un estudio realizado en Barcelona se describieron los dos primeros casos de alergia respiratoria al polen de *Quercus* (Bartra *et al.*, 2004) en pacientes monosensibles. Cabe destacar que este tipo polínico presenta reactividad cruzada con otros pólenes de géneros de la misma familia, además de con otros tipos polínicos como *Alnus*, *Betula*, *Castanea*, *Olea* y *Poaceae* (García-Mozo *et al.*, 2002; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2005; Jato *et al.*, 2007) por lo que las personas alérgicas pueden mostrar una sintomología muy prolongada en el tiempo.

### 4.3.12. Tipo polínico *Rumex*

Género de la familia de Polygonaceae que se encuentra representado en la provincia de Málaga por varias especies, entre ellas las más frecuentes son *Rumex crispus* L., *R. conglomeratus* Murray, *R. induratus* L., *R. scutatus* L., *R. tingitanus* L. y *R. bucephalophorus* L. Además, se ha incluido dentro de este tipo polínico el polen de *Emex spinosa* L. Campd., una planta abundante en la zona de Málaga, y cuyo polen presenta una morfología polínica similar, visto con el microscopio óptico, a la del género *Rumex*. Se trata en su mayoría, de especies nitrofilas, que viven en bordes de caminos, laderas y ribazos.



#### 4.3.12.1. Descripción botánica

Son plantas herbáceas perennes, anuales o bienales, con las hojas alternas y pecioladas, de nervadura pinnada o subpalmeada. Flores hermafroditas o unisexuales, dispuestas en inflorescencias racemosas o, raramente, simples. Dioicas o polígamas, androceo con seis estambres; pistilo con 3 estilos largos, con estigmas a menudo purpúreos. Fruto en aquenio trígono.

#### 4.3.12.2. Época de floración/polinización

La floración ocurre desde marzo a agosto y la polinización de estas especies es de tipo es anemófilo.

#### 4.3.12.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Circular en vista polar, subcircular en vista ecuatorial. De oblado esferoidal a subprolado. Tamaño pequeño a mediano. Ectoaberturas de tipo colpo, en posición meridiana, endoaberturas de tipo poro, en posición ecuatorial. Exina de 1,5-2  $\mu\text{m}$  de grosor con sexina y nexina del mismo grosor. Tectum perforado, infratectum columelado. Superficie con elementos escábridos dispuestos sobre los muros.

#### 4.3.12.4. Variación interanual

El polen de *Rumex* representó 1,41% del espectro polínico total durante los años estudiados, ocupando la décima posición entre los tipos polínicos más relevantes, y con un índice polínico anual medio de 477 a lo largo del periodo estudiado, oscilando entre un mínimo de 218 (año 2011) y un máximo de 1.048 (año 1996) (Tabla 4.120).

| Años  | IPA   | % anual | Semana pico |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1992  | 281   | 1,27    | 17          |
| 1993  | 364   | 1,20    | 14          |
| 1994  | 472   | 1,73    | 14          |
| 1995  | 131   | 0,64    | 14          |
| 1996  | 1.048 | 2,45    | 15          |
| 1997  | 328   | 0,50    | 19          |
| 1998  | 892   | 2,61    | 14          |
| 1999  | 449   | 0,98    | 17          |
| 2000  | 701   | 2,15    | 22          |
| 2001  | 562   | 1,28    | 17          |
| 2002  | 561   | 1,80    | 18          |
| 2003  | 663   | 1,67    | 18          |
| 2004  | 518   | 2,06    | 22          |
| 2005  | 301   | 0,70    | 16          |
| 2006  | 474   | 1,75    | 16          |
| 2007  | 615   | 1,32    | 19          |
| 2008  | 470   | 1,47    | 20          |
| 2009  | 422   | 1,02    | 20          |
| 2010  | 506   | 1,24    | 18          |
| 2011  | 218   | 0,79    | 15          |
| 2012  | 333   | 1,13    | 20          |
| 2013  | 551   | 1,33    | 19          |
| 2014  | 294   | 0,75    | 17          |
| 2015  | 284   | 0,97    | 17          |
| Media | 477   | 1,41    | 17          |

**Tabla 4.118.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

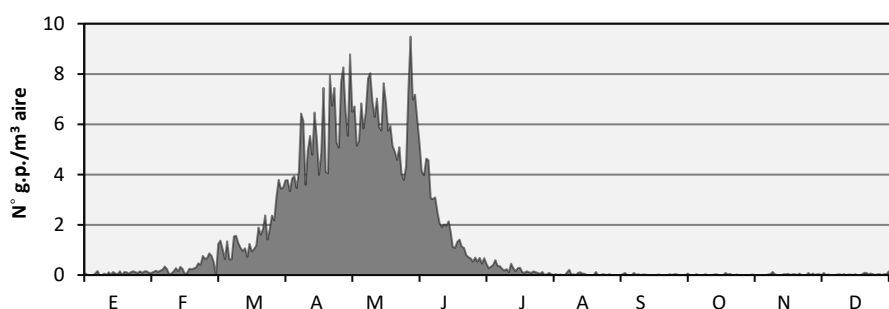
#### 4.3.12.5. Variación estacional

Durante todo el periodo estudiado, la dinámica estacional del polen de *Rumex* muestra que este tipo se detecta en la atmósfera de Málaga prácticamente durante todo el año, pero mayormente en los meses de marzo a junio, aunque se puede observar también que existen concentraciones bajas durante el invierno (enero-febrero) y el verano (julio-agosto).

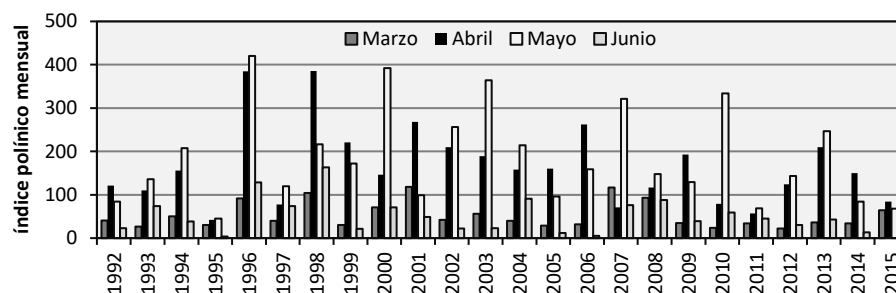
Las concentraciones máximas semanales se alcanzan más frecuentemente entre la semana 14 y la semana 17, aunque se observa que existen diferencias interanuales, ya que se observó que los niveles semanales máximos pueden producirse hasta la semana 20 (años 2008, 2009 y 2012) e incluso hasta la semana 22 (años 2000 y 2004) (Tabla 4.118). Los promedios de las concentraciones medias muestran un pico de 9 granos de polen/m<sup>3</sup> durante la última semana del mes de mayo (Fig. 4.158).

La evolución de las concentraciones mensuales muestra un aumento de los niveles de polen de *Rumex* a partir de principios de marzo, registrándose las cantidades más elevadas durante los meses de abril y mayo, si bien los índices polínicos máximos mensuales se obtuvieron fundamentalmente durante el mes de mayo, con valores que oscilaron entre 45 y 420, con un promedio mensual de 189. Sin embargo, no es extraño detectar también niveles máximos en el mes de abril, habiéndose registrado valores comprendidos entre 385 (año 1998) y 42 (año 1995),

con un valor promedio de 166. Posteriormente, los niveles decrecen a partir del mes de junio, que muestra un índice promedio mensual igual a 50, pero con valores superiores a los 100 tanto en el año 1996 como en el 1998 (Fig. 4.159).

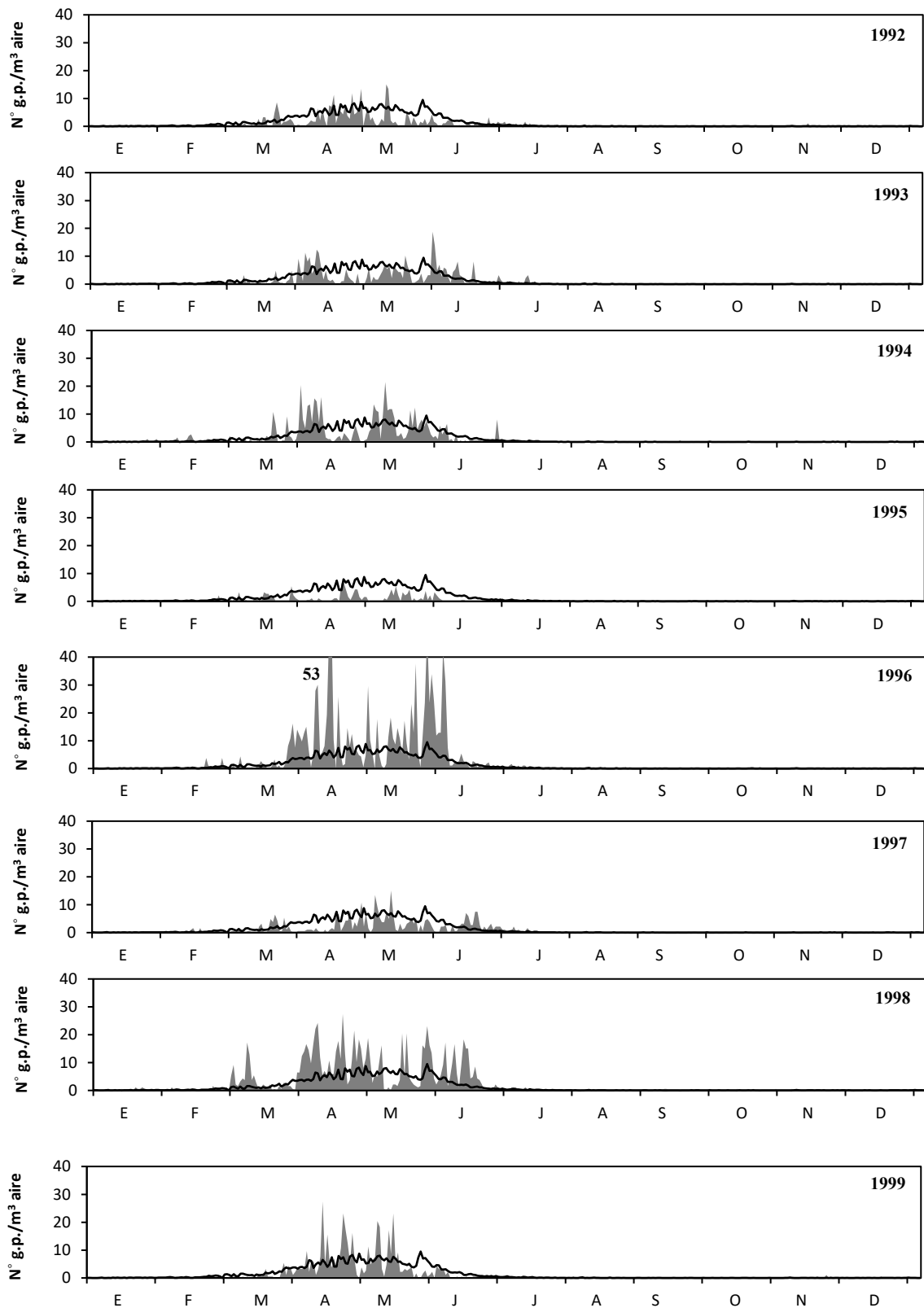


**Figura 4.158.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).



**Figura 4.159.** Índices polínicos mensuales obtenidos en marzo, abril, mayo, junio para el tipo polínico *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En las gráficas de los distintos años, analizando la distribución de las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex*, se observa que este tipo polínico presenta un comportamiento estable con un periodo relativamente largo de presencia en la atmósfera de Málaga, que se inicia en enero-febrero y finaliza en los meses de veranos (julio-agosto), apareciendo varios picos consecutivos con diferentes intensidades. Los niveles máximos se detectan siempre en los meses de abril-mayo con excepción del año 1998, en el que dichos niveles se mantuvieron altos hasta el mes de junio. Por otra parte, los picos máximos diarios aparecieron entre los meses de abril y mayo, obteniéndose un registro máximo histórico de 70 g.p./m<sup>3</sup> el día 26 de mayo 2000. Cabe mencionar que el año 1995 presentó concentraciones diarias muy bajas, inferior a los promediadas, con un pico máximo que apenas superó los 7 g.p./m<sup>3</sup> (Fig. 4.160).



**Figura 4.160.** Concentraciones medias diarias de polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados y valor promedio (línea).

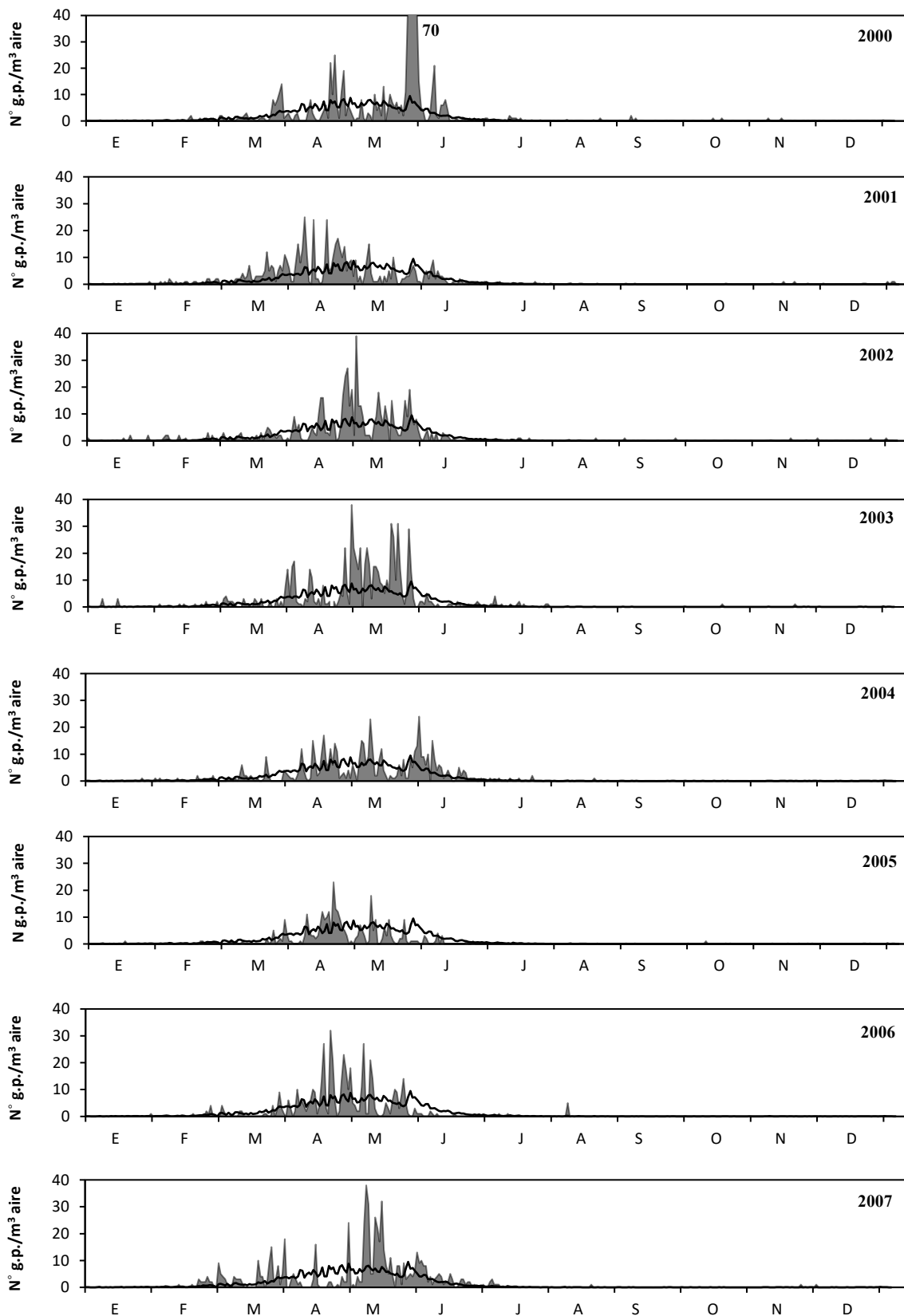


Figura 4.160. Continuación.



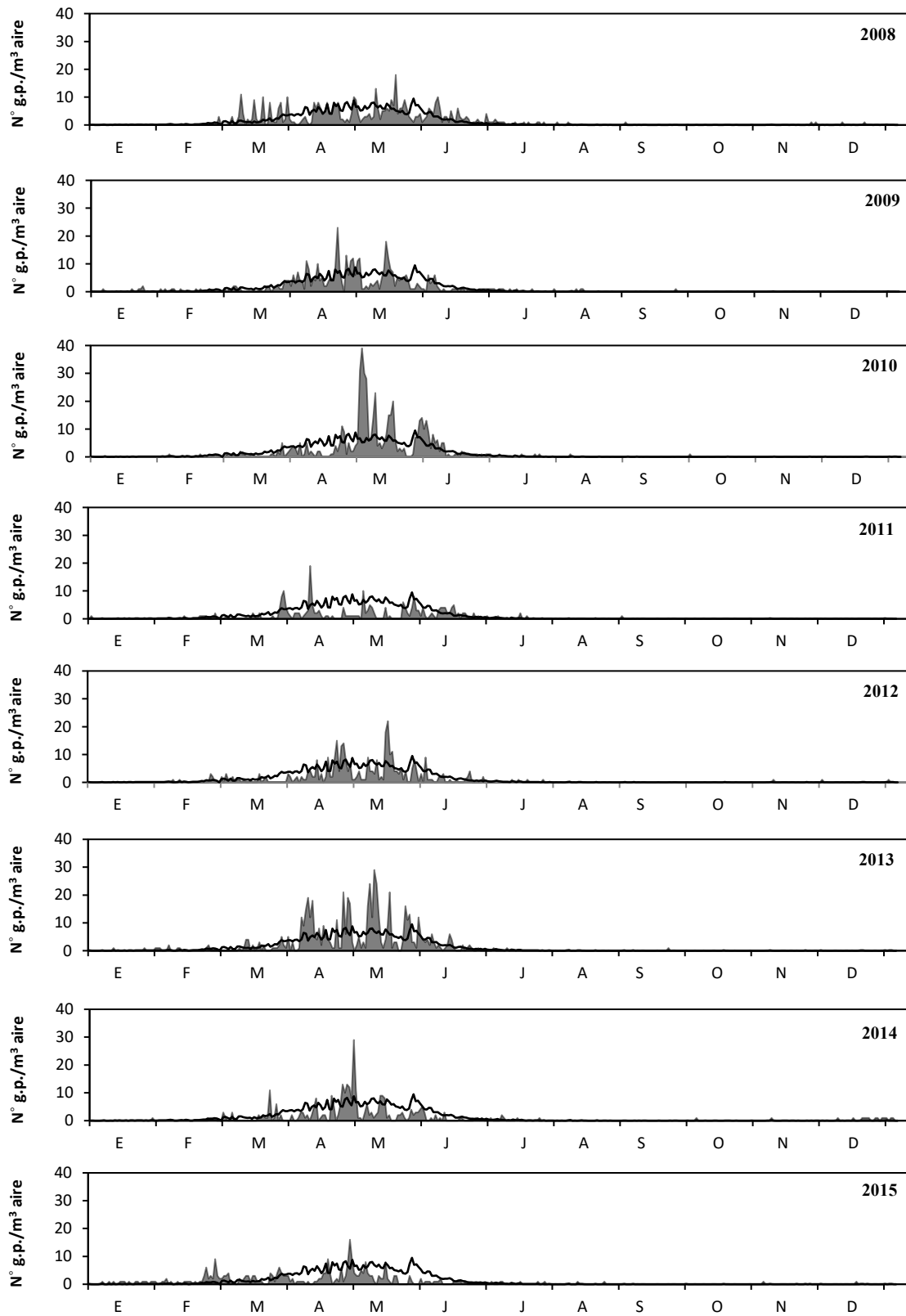


Figura 4.160. Continuación.

## Resultados

| Año       | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1992      | 15-03 (74)/09-07 (190)  | 117      | 270           | 10-05 (131)     | 15                                     | 56       | 182           | 61        | 88            |
| 1993      | 07-03 (66)/09-07 (190)  | 125      | 348           | 30-05 (151)     | 19                                     | 84       | 238           | 41        | 110           |
| 1994      | 12-02 (43)/25-06 (176)  | 133      | 452           | 08-05 (130)     | 21                                     | 86       | 270           | 48        | 182           |
| 1995      | 21-02 (52)/12-06 (163)  | 112      | 125           | 20-04 (110)     | 7                                      | 57       | 47            | 55        | 78            |
| 1996      | 19-03 (78)/13-06 (164)  | 87       | 996           | 14-04 (104)     | 53                                     | 25       | 274           | 62        | 722           |
| 1997      | 09-03 (68)/04-07 (186)  | 118      | 312           | 11-05 (131)     | 15                                     | 62       | 166           | 56        | 146           |
| 1998      | 01-03 (60)/17-06 (169)  | 109      | 857           | 19-04 (109)     | 27                                     | 48       | 329           | 61        | 528           |
| 1999      | 19-03 (78)/05-06 (157)  | 79       | 429           | 13-04 (103)     | 27                                     | 24       | 74            | 56        | 355           |
| 2000      | 12-03 (71)/22-06 (173)  | 103      | 909           | 26-05 (146)     | 70                                     | 74       | 360           | 29        | 594           |
| 2001      | 23-02 (54)/17-06 (168)  | 115      | 536           | 07-04 (97)      | 25                                     | 42       | 173           | 73        | 363           |
| 2002      | 14-02 (45)/10-06 (161)  | 117      | 533           | 01-05(121)      | 39                                     | 75       | 260           | 42        | 273           |
| 2003      | 01-03 (60)/26-06 (177)  | 118      | 785           | 29-04 (119)     | 38                                     | 58       | 185           | 60        | 573           |
| 2004      | 10-03 (69)/19-06 (170)  | 102      | 493           | 30-05 (150)     | 24                                     | 80       | 376           | 22        | 117           |
| 2005      | 21-03 (80)/05-06 (156)  | 77       | 285           | 20-04 (110)     | 23                                     | 29       | 112           | 48        | 173           |
| 2006      | 01-03 (60)/03-06 (154)  | 95       | 453           | 20-04 (110)     | 32                                     | 49       | 147           | 46        | 306           |
| 2007      | 25-02 (56)/22-06 (173)  | 118      | 589           | 07-05 (127)     | 38                                     | 70       | 229           | 48        | 360           |
| 2008      | 08-03 (67)/14-07 (195)  | 129      | 449           | 18-05 (138)     | 18                                     | 70       | 285           | 59        | 164           |
| 2009      | 09-02 (40)/03-07 (184)  | 145      | 402           | 21-04 (111)     | 23                                     | 70       | 139           | 75        | 263           |
| 2010      | 22-03 (81)/20-06 (171)  | 91       | 481           | 02-05 (122)     | 39                                     | 40       | 126           | 51        | 355           |
| 2011      | 22-02 (53)/28-06 (179)  | 127      | 208           | 10-04 (100)     | 19                                     | 46       | 51            | 81        | 157           |
| 2012      | 28-02 (59)/21-06 (172)  | 114      | 317           | 14-05 (134)     | 22                                     | 74       | 205           | 39        | 112           |
| 2013      | 11-03 (71)/12-06 (164)  | 94       | 523           | 09-05 (129)     | 29                                     | 58       | 309           | 36        | 214           |
| 2014      | 03-03 (62)/05-07 (186)  | 125      | 280           | 29-04 (119)     | 29                                     | 56       | 133           | 69        | 147           |
| 2015      | 04-02 (36)/03-07 (183)  | 150      | 270           | 29-04 (119)     | 16                                     | 83       | 164           | 77        | 106           |
| 1992-2015 | 03-03 (62)/22-06 (173)  | 113      | 471           | 01-05 (121)     | 28                                     | 59       | 201           | 54        | 270           |

Tabla 4.121. Indicadores del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1992-2015).



#### 4.3.12.6. Periodo de polinación principal

El periodo de polinación principal del polen de *Rumex* ha sido relativamente largo, con una duración media de 113 días, fluctuando entre un mínimo de 77 días (año 2005) y un máximo de 150 (año 2015). Las fechas promedio del PPP fueron entre el día 03/03 como fecha de inicio y el día 22/06 como fecha de final, periodo durante el cual se detectó un índice polínico promedio de 471, oscilando entre un mínimo de 125 (año 1995) y un máximo de 996 (año 1996).

Se observa que los niveles más altos de polen *Rumex* se alcanzaron durante los años que mostraron una duración más corta de PPP (1996, 1998 y 2000), mientras que los niveles más bajos han sido registrados durante los años con una larga duración de PPP (año 2015).

En lo que se refiere al día pico, se puede apreciar que existen variaciones de un año a otro, oscilando entre los meses de abril y mayo, con una fecha promedio en el día 01 de mayo para los años estudiados. Por otra parte, se observa que existen fluctuaciones en el valor de la concentración media diaria del día pico, con un mínimo de 7 g.p./m<sup>3</sup> (año 1995) y un máximo de 70 g.p./m<sup>3</sup> (año 2000), siendo el valor promedio de 28 granos de polen/m<sup>3</sup>.

Los periodos pre-pico del *Rumex* tuvieron una duración promedio de 59 días, oscilando entre un mínimo de 25 días (1999) y un máximo de 97 días (año 2015). Los índices polínicos registrados para dicho periodo fluctuaron entre 47 y 376, con un valor medio de producción polínica de 201. Aunque los periodos post-pico fueron más cortos en cuanto a duración, mostrando un promedio de 54 días, se observan grandes diferencias entre los años de estudio, ya que este periodo ha ido fluctuando entre un mínimo de 22 días (2004) y un máximo de 81 días (2011), con índices polínicos variando entre 78 y 722 y un promedio de 270. En general, las cantidades de polen registradas durante los periodos pre- y post-pico presentaron una gran variabilidad interanual, al igual que la fecha final del PPP (Tabla 4.121).

#### 4.3.12.7. Estudio de tendencias

- Índice polínico anual

La figura (4.161) muestra la variación interanual del índice polínico anual de *Rumex* a lo largo de los 24 años de estudio, indicando una ligera tendencia a la disminución de este polen en la atmósfera de Málaga a lo largo del periodo estudiado, aunque no resultó ser significativa ( $R^2=0,037$ ,  $p=0,368$ ). Por otra parte, los resultados de test de *Mann-Kendall* coinciden con los del test de regresión, ya que se observa una tendencia significativa de la serie ( $Z=-0,152$ ;  $p=0,314$ ). El valor de la pendiente de *Sen* muestra un valor negativo igual a -13,79 (Tabla 4.122).

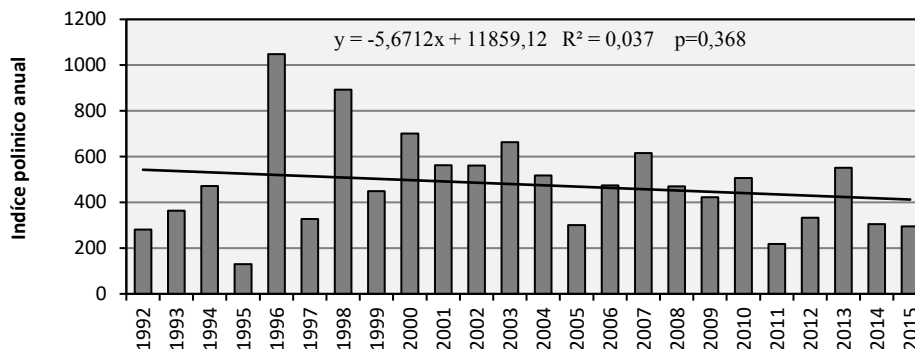


Figura 4.161. Evolución del índice polínico anual del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

|       |        |       |    | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
| Serie | Inicio | Final | n  | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,152            | 0,314 | -13,79           |

Tabla 4.122. Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Rumex*, en la atmósfera de Málaga usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante el periodo 1992-2015.

▪ Niveles del polen de *Rumex*

Los niveles de las concentraciones de polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga han sido analizados según la categoría del grupo 2 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007). Se observa que el promedio de los días con niveles nulos (<1 g.p./m<sup>3</sup>) han sido 269 (±20) con una fluctuación entre un mínimo de 235 días y un máximo de 318, lo que muestra una baja variación que no supera el 8%. Por otra parte, el promedio de los días con niveles bajos, es decir, entre 1-25 g.p./m<sup>3</sup> ha sido 97 (±20) durante el conjunto de los años, mostrando un mínimo de 50 días y un máximo de 133, de modo que aparece un coeficiente de variación bajo que no supera el 20%. Como se comentó anteriormente, durante el periodo estudiado las concentraciones medias diaris de este tipo suelen ser entre 7-70 g.p./m<sup>3</sup>, con un promedio general en torno de 28 g.p./m<sup>3</sup>, lo que explica los resultados obtenidos en lo que se refiere a los números de días tanto con niveles moderados (26-50 g.p./m<sup>3</sup>) como altos (>50g.p./m<sup>3</sup>) obtengan valores promedios de 2 días y 3 días respectivamente para dichas categorías (Fig. 4.162, Tabla 4.123).

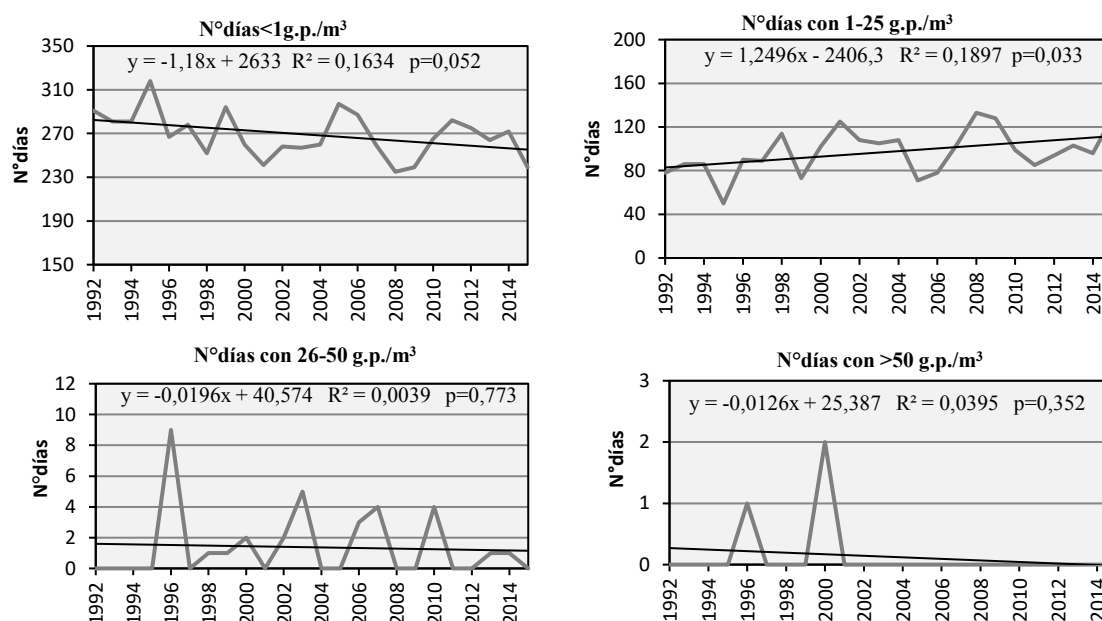
| Niveles                           | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>    | 235    | 318    | 269   | 20           | 8      |
| Nº días 1-25g.p./m <sup>3</sup>   | 50     | 133    | 97    | 20           | 20     |
| Nº días 26-50 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 9      | 2     | 2            | 80     |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 2      | 3     | 1            | 44     |

Tabla 4.123. Número de días al año con diferentes niveles de concentración de polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

Los resultados de la prueba de *Mann-Kendall* indican una tendencia a la disminución, negativa, pero no significativa en lo que al número de días sin granos de polen ( $<1$  g.p./m<sup>3</sup>), se refiere. Por lo contrario, se ha observado una tendencia positiva, pero estadísticamente significativa en cuando al número de días con la categoría 1-25 g.p./m<sup>3</sup>, para  $p \leq 0,05$ . En cuando a los números de días tanto con niveles moderados como altos, no se ha obtenido ninguna tendencia ( $Q=0$ ) (Tabla 4.124).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,251            | 0,091 | -1               |
| Nº días 1-25 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,273             | 0,066 | 1,27             |
| Nº días 26-50 g.p./m <sup>3</sup>  | 0,037             | 0,836 | 0                |
| Nº días >50 g.p./m <sup>3</sup>    | -0,090            | 0,595 | 0                |

**Tabla 4.124.** Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Rumex*, en la atmósfera de Málaga durante los años de estudio (1992-2015).

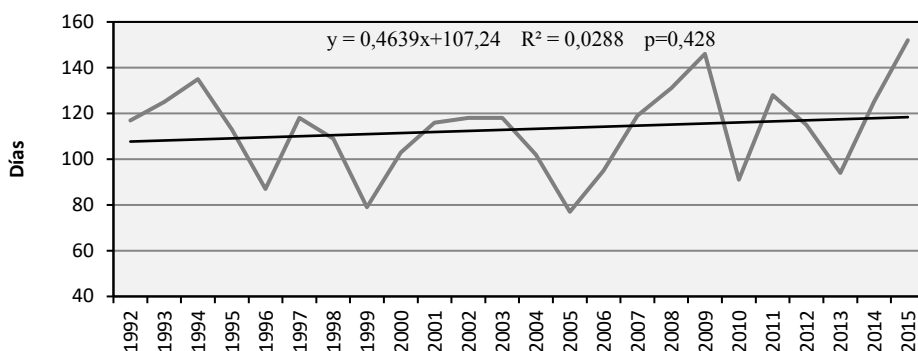


**Figura 4.162.** Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Rumex* en Málaga durante el periodo 1992-2015.

#### ▪ Parámetros del PPP

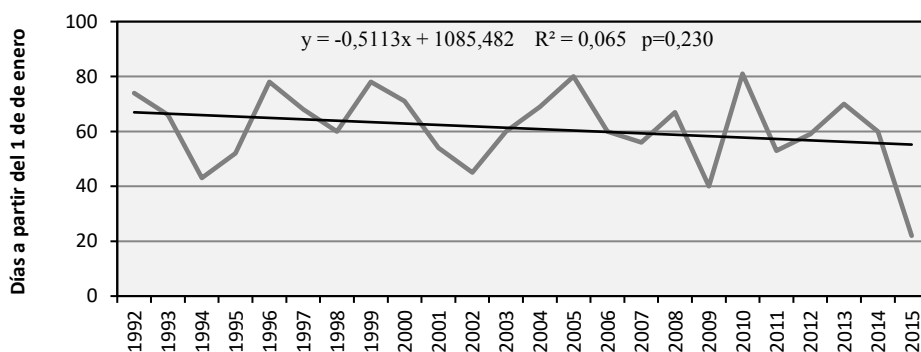
En la figura (4.163) se muestra la evolución de la **duración del periodo de polinación principal** de *Rumex*. Asimismo, se puede ver una ligera tendencia al alargamiento de dicho periodo, aunque no es estadísticamente significativa de dicho periodo ( $Z=0,128$ ,  $p=0,399$ ). Asimismo, se observa que este periodo varía entre los 77 y 150 días, mostrando un promedio de

113 días ( $\pm 19$ ) durante los años estudiados (1992-2015). Esta tendencia viene explicada por la pendiente de *Sen*, con un valor igual a 0,53 (Tabla 4.125).



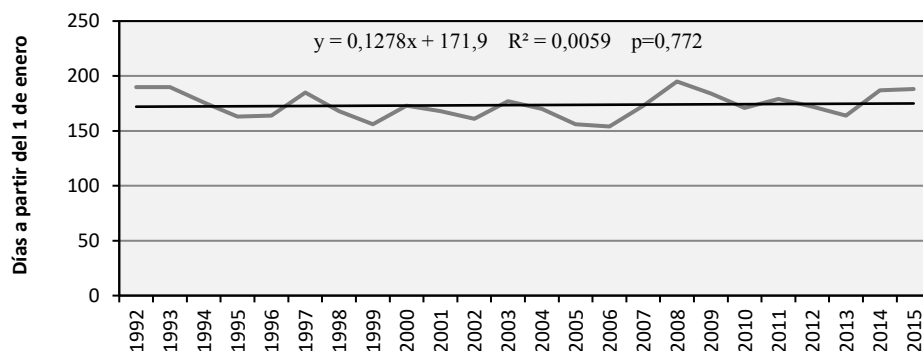
**Figura 4.163.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015.

En cuanto al **inicio de la estación polínica** de *Rumex* se observa una tendencia al adelanto no significativa ( $Z=-0,117$ ,  $p=0,441$ ) durante el periodo estudiado. La fecha media de inicio fue el 03 de marzo ( $62 \pm 13$ ) variando entre el día 04-02 (36) y el día 22-03 (81), mostrando un porcentaje de variación igual a 20% durante el periodo estudiado. Los resultados de la prueba de estimación de la pendiente de *Sen* indican que el inicio de la estación de *Rumex* mostró un valor igual a -0,429 (Fig. 4.164, Tabla 4.125).



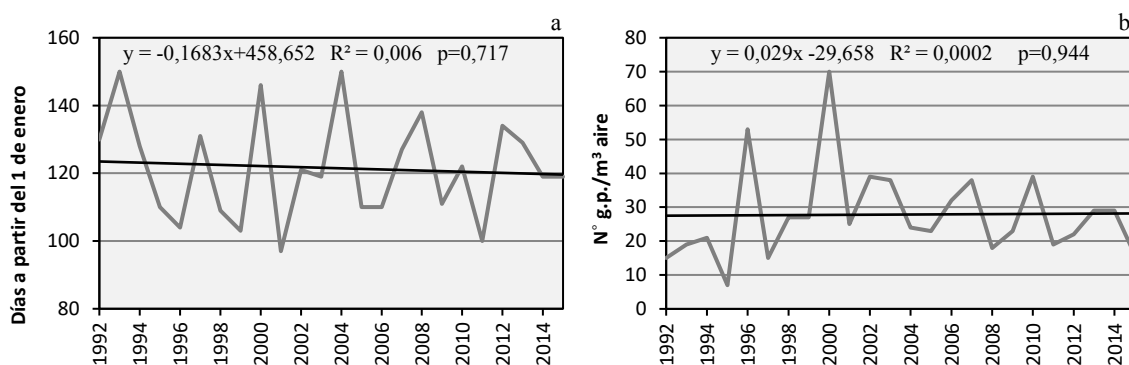
**Figura 4.164.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015.

Por lo contrario, se observa una muy ligera tendencia al retraso del **final de la estación polínica** de *Rumex*, que tampoco resultó ser estadísticamente significativa ( $Z=0,077$ ,  $p=0,619$ ). Esta fecha ha ido oscilando entre el día 3 de junio (154) y el 14 de julio (195), con la media situada en el día  $173 \pm 12$ , y un coeficiente de variación igual al 6%. Esta tendencia viene explicada por la pendiente de *Sen*, con un valor positivo igual a 0,26 (Fig. 4.165, Tabla 4.125).



**Figura 4.165.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015.

Los análisis de la dinámica correspondiente a la **fecha del día pico** muestra una ligera tendencia al adelanto, aunque no significativa ( $Z=-0,033$ ,  $p=0,842$ ). Para este mismo parámetro, se obtuvo una fecha media situada en el día 01 de mayo ( $121\pm 15$ ). En lo que se refiere al **valor pico**, se observó igualmente una ligera tendencia, no significativa, al incremento del mismo con un valor de la pendiente de *Sen* igual a 0,133. Durante los años estudiados, el valor del pico máximo registró un promedio de 28 granos de polen/ $m^3$  de media diaria, pero con un porcentaje de variación del a 47,5% en lo que a estos valores máximos registrados se refiere (Fig. 4.166, Tabla 4.125).



**Figura 4.166.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del *Rumex* (a) y valor de la concentración media diaria del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015.

| Parámetros   | Mann Kendall Test |             | Pendiente de <i>Sen</i> |
|--------------|-------------------|-------------|-------------------------|
|              | <i>Z</i>          | <i>Sig.</i> | <i>Q</i>                |
| Inicio PPP   | -0,117            | 0,441       | -0,42                   |
| Final PPP    | 0,077             | 0,619       | 0,26                    |
| Duración PPP | 0,128             | 0,399       | 0,53                    |
| Día pico     | -0,033            | 0,842       | -0,06                   |
| Valor pico   | 0,070             | 0,655       | 0,13                    |

**Tabla 4.125.** Resumen de los resultados del test de *Mann-Kendall* y de la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

## 4.3.12.8. Análisis de correlación con los parámetros meteorológicos

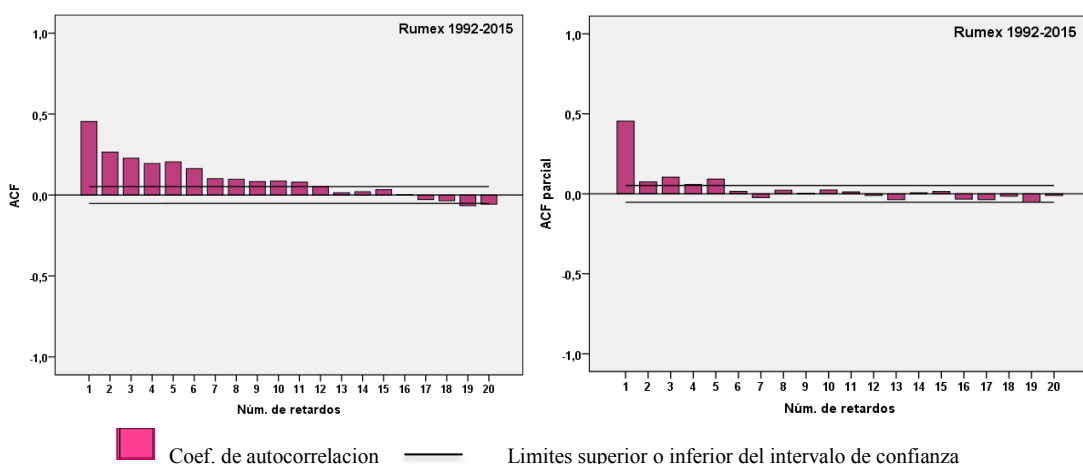
En general, los resultados obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Rumex* y los parámetros meteorológicos considerando el PPP completo del conjunto de los años son similares a los obtenidos con otros tipos polínicos, registrándose coeficientes significativos y negativos con la humedad relativa, la precipitación, el viento del primer y segundo cuadrante y la calma, mientras que con las horas de sol, la velocidad media del viento y el viento del cuarto cuadrante fueron significativos y de signo positivo. Además, se obtuvieron coeficientes de correlación significativos y positivos con la temperatura máxima y media, mientras que no fueron significativos con la temperatura mínima. Si consideramos los periodos pre-pico y post-pico por separado, se puede observar que el análisis de las correlaciones muestra que existe una buena asociación entre las concentraciones de polen de *Rumex* y los parámetros meteorológicos. Así, durante ambos periodos aparecieron coeficientes de correlación significativos y de signo negativo con la precipitación, la humedad relativa, la calma y también con los vientos de primer y segundo cuadrante, mientras con las horas de sol, la velocidad media del viento y el viento de cuarto cuadrante estos fueron significativos pero positivos. Con las temperaturas (máximas, medias, mínimas) se obtuvieron coeficiente de correlación significativos y positivos durante el periodo pre-pico, pero se tornaron de signo negativo, durante el post-pico. Por otro lado, cabe destacar las correlaciones positivas y significativas obtenidas con el viento de tercer cuadrante, solamente durante el periodo pre-pico (Tabla 4.126).

|                          | PPP<br>N=2892 | Pre-pico<br>N=1457 | Post-pico<br>N=1435 |
|--------------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>     | -0,142*       | -0,134*            | -0,075*             |
| <b>T<sup>a</sup> max</b> | 0,200*        | 0,500***           | -0,084*             |
| <b>T<sup>a</sup> med</b> | 0,129*        | 0,481***           | -0,185**            |
| <b>T<sup>a</sup> min</b> | 0,019         | 0,304**            | -0,277**            |
| <b>Humedad rel.</b>      | -0,241*       | -0,372**           | -0,135*             |
| <b>Horas de Sol</b>      | 0,226**       | 0,342**            | 0,145*              |
| <b>V. med viento</b>     | 0,241**       | 0,243*             | 0,237*              |
| <b>% Vto. 1°C.</b>       | -0,066*       | -0,064*            | -0,060*             |
| <b>% Vto. 2°C.</b>       | -0,269**      | -0,313***          | -0,234**            |
| <b>% Vto. 3°C.</b>       | 0,014         | 0,052*             | -0,032              |
| <b>% Vto. 4°C.</b>       | 0,285**       | 0,339**            | 0,277**             |
| <b>Calma</b>             | -0,138*       | -0,122*            | -0,163*             |

**Tabla 4.126.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los periodos pre-pico y post-pico (1992-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .

#### 4.3.12.9. Análisis de autocorrelaciones

Los resultados del análisis de autocorrelación indican un alto número de retardos (12 retardos) que muestran coeficientes de correlación significativos, siendo el mayor coeficiente de autocorrelación se obtuvo con la concentración del día anterior. Por otra parte, a partir de las autocorrelaciones parciales obtenemos resultados similares donde el retardo de un día muestra un alto valor del coeficiente, lo que indica una alta asociación entre las concentraciones de un día con las del día previo, por lo cual se eligió la concentración del día anterior (n-1) para ser utilizada como variable independiente en los modelos de pronóstico por que presentar la correlación estadísticamente significativa más elevados (Fig. 4.167).



**Figura 4.167.** Autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales de la serie de las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.3.12.10. Modelos de pronóstico

El mejor modelo obtenido mediante de la regresión múltiple por pasos, para la estimación de las concentraciones medias diarias durante el pre-pico del polen de *Rumex* fue el modelo 3, que incluye como variables independientes la temperatura media, el viento del cuarto cuadrante, la temperatura mínima, las horas de sol, las temperaturas máximas y el viento del segundo cuadrante. Aunque con el modelo 1 se consiguió un valor de  $R^2$  de tan sólo 0,250, se observó un mínimo incremento con el último modelo que incluye siete variables llegando a alcanzar un valor de  $R^2$  de 0,273 (Tabla 4.127). A pesar de los bajos valores de  $R^2$ , todos ellos fueron significativos.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | $R^2$ | p     |
|--------|--|-------|-------|
| 1a     | Rum=0,653 T <sup>a</sup> med+0,033 Vto.4°C-0,053 H.R-5,337   | 0,250 | 0,000 |
| 2a     | Rum= 0,447 T <sup>a</sup> med+0,037 Vto.4°C-0,051 H.R+0,231 T <sup>a</sup> min+0,119 H.S-6,139   | 0,267 | 0,000 |
| 3a     | Rum= 0,303 T <sup>a</sup> med+0,024 Vto.4°C-0,043 H.R +0,270 T <sup>a</sup> min+0,129 H.S+0,126 T <sup>a</sup> max-0,018 Vto.2°C-5,305 | 0,273 | 0,000 |

**Tabla 4.127.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1992-2015).

Cuando consideramos más variables predictoras, tanto como la D-media como la concentración de *Rumex* del día anterior, se obtuvieron cinco modelos de pronóstico (Tabla 4.128). Se observa que, con el primer modelo, incluyendo sólo la temperatura media, se consiguió un coeficiente de determinación de explicar 0,181. En segundo modelo, se observó un incremento el valor de  $R^2$ , el cual llegó a alcanzar el valor de 0,268 con la introducción de la concentración del día anterior como variable explicativa, además con la temperatura media. A partir del segundo modelo, se observa que mientras se incluye cada vez más variables explicativas se aumenta el valor de  $R^2$ . De hecho, los siguientes modelos fueron más complejos, pudiéndose observar que, con el quinto modelo, se mejora el valor de  $R^2$ , llegando a alcanzar el valor de 0,355, al incluirse la temperatura media, la concentración del día anterior ( $Rum_{t-1}$ ), la D-media, la humedad relativa, la temperatura mínima y las horas de sol. Todas las variables entraron a formar parte de la ecuación con signo positivo, excepto la humedad relativa. Este explica el papel positivo que tienen todas variables predictoras de la ecuación de regresión y el efecto negativo de la humedad relativa.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos  | $R^2$ | p     |
|--------|---|-------|-------|
| 1b     | $Rum = 0,769 T^a med - 8,871$   | 0,181 | 0,000 |
| 2b     | $Rum = 0,585 T med + 0,027 Rum_{t-1} + 0,681$   | 0,268 | 0,000 |
| 3b     | $Rum = 0,442 T^a med + 0,283 Rum_{t-1} + 0,034 V to.4^{\circ}C + 0,265 D med - 0,044 H.R - 4,363$     | 0,344 | 0,000 |
| 4b     | $Rum = 0,442 T^a med + 0,278 Rum_{t-1} + 0,277 D med - 0,048 H.R - 4,543$                             | 0,350 | 0,000 |
| 5b     | $Rum = 0,349 T^a med + 0,277 Rum_{t-1} + 0,246 D med - 0,045 H.R + 0,166 T^a min + 0,078 H.S - 4,891$ | 0,355 | 0,000 |

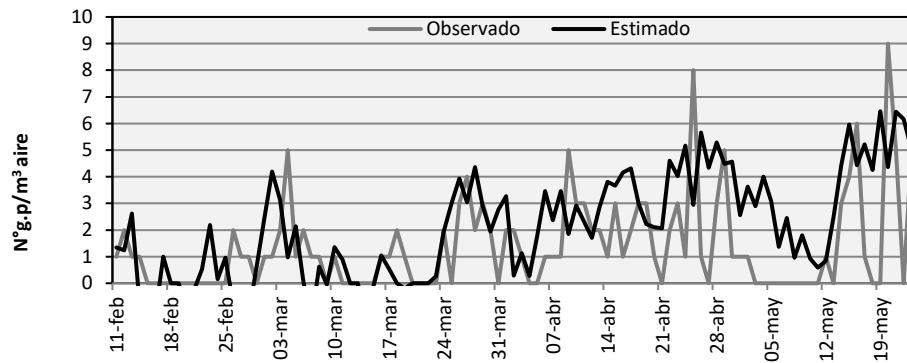
**Tabla 4.128.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* en el periodo pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior (t-1) durante los años estudiados (1992-

▪ **Validación del mejor modelo**

En la figura 4.168, se representa el grado de asociación entre las concentraciones medias diarias registradas del polen de *Rumex* durante el pre-pico del año 2016 (observado) y las mismas estimadas mediante el modelo cuyo coeficiente de determinación fue de 0,355 (Tabla 4.129). Así, se observó una cierta similitud entre los datos comparados. Por otro lado, se realizó un análisis para comprobar el grado de asociación entre los datos estimados y observados mediante la prueba de *Spearman* y también *Wilcoxon* para comparar los promedios entre los recuentos de polen de *Rumex*. Los resultados nos muestran que existe una correlación estadísticamente significativa entre ambos datos ( $r=0,418$ ;  $p=0,000$ ). Por lo contrario, la segunda prueba, arroja existen diferencias significativas entre los recuentos observados durante el pre-pico y los estimados con el modelo de pronóstico.







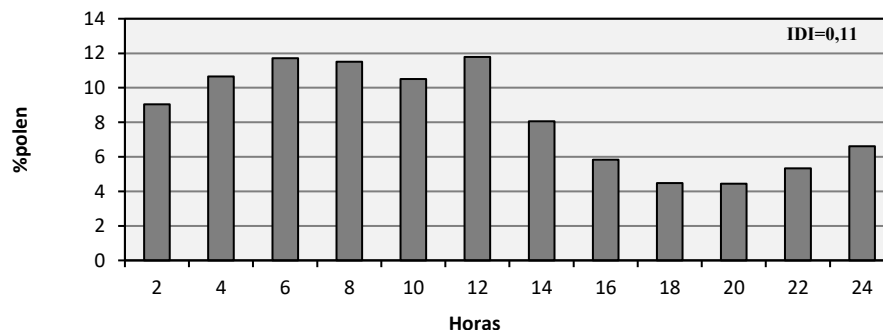
**Figura 4.168.** Concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* durante el periodo pre-pico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 5b de las ecuaciones de regresión.

|   | Spearman Test |       | Wilcoxon Test |         |        |       |
|---|---------------|-------|---------------|---------|--------|-------|
|   | r             | p     | Rango +       | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 5b<br/>Observado-Estimado</b> | 0,418         | 0,000 | 53            | 23      | -3,306 | 0,001 |

**Tabla 4.129.** Coeficientes de correlación de Spearman y comparación de los promedios mediante el test de Wilcoxon entre los datos observados y esperados de las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* en Málaga durante el periodo de pre-pico (2016), utilizando el mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.12.11. Variación intradiaria

La variación intradiaria de polen de *Rumex*, considerando el conjunto de los años (1992-2015), se caracterizó por presentar un patrón general que muestra un incremento de los niveles de polen a partir de las 00:00 horas de la madrugada llegando a alcanzar un máximo entre las 04:00-06:00 horas, que más o menos se mantienen hasta el mediodía (entre 10:00-12:00 horas) con un pico que llegó a ser casi del 12% del total diario, observándose un descenso de los niveles por la tarde. El promedio del índice de distribución intradiaria ha sido igual a  $0,11 \pm 0,02$  con un coeficiente de variación de 19% (Fig. 4.169).



**Figura 4.169.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Rumex* en Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Si analizamos el comportamiento intradiario del polen de *Rumex* de cada año, por separado, observamos un patrón similar al del promediado, con altibajos que ocurren durante las 24 horas de día, mostrando un incremento de los niveles durante la madrugada hasta alcanzar un pico máximo en torno del mediodía. Los valores del IDI calculados para este tipo polínico fueron bajos oscilando entre 0,07 (2008) y 0,15 (año 2004). Se obtuvieron porcentajes máximos del 16% del total diario en la franja horaria comprendida entre las 04:00-6:00 horas (Fig. 4.170).

### 4.3.12.12. Discusión

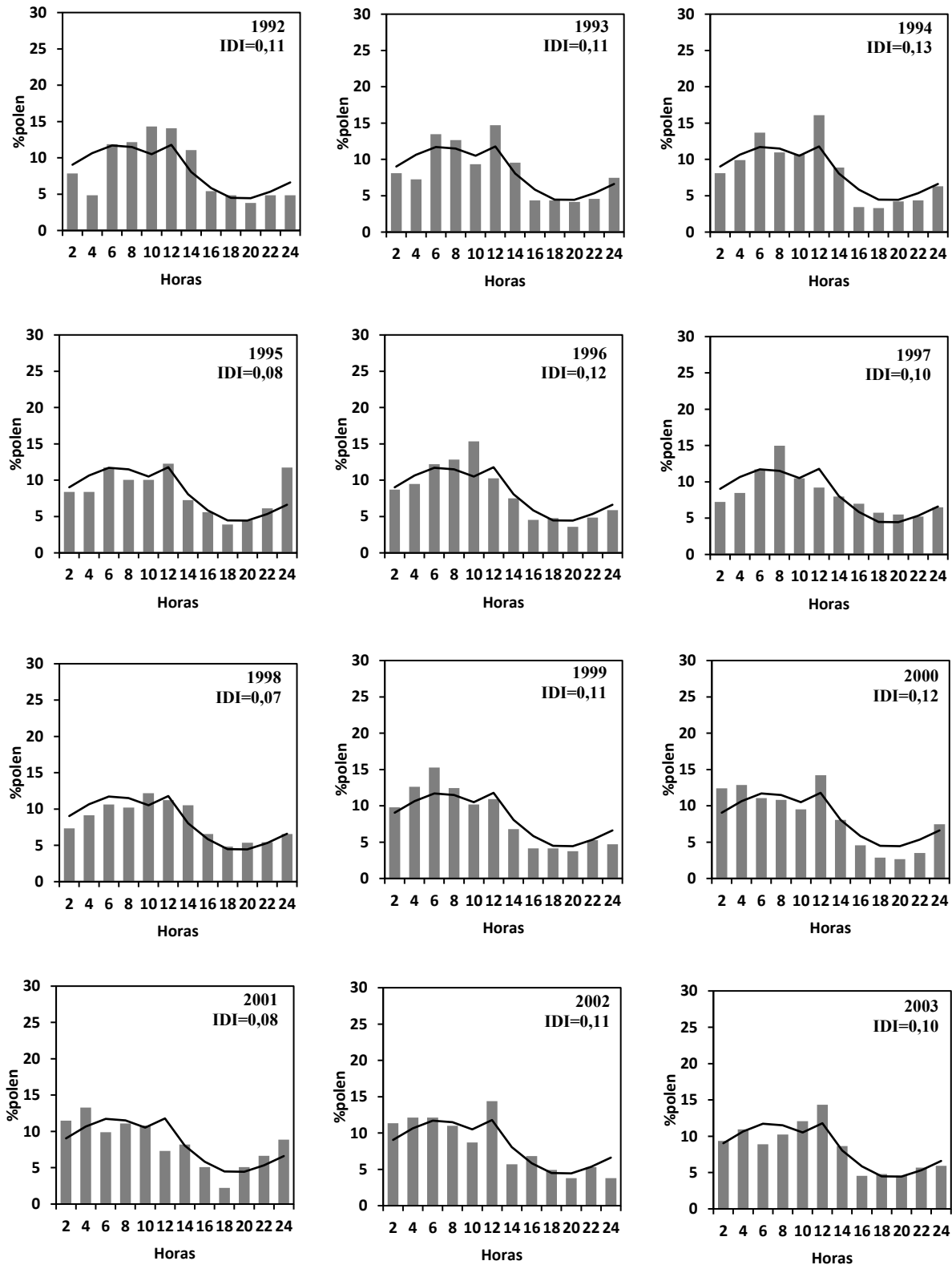
*Rumex* forma parte de las plantas herbáceas anuales o vivaces con amplia distribución en las regiones templadas del hemisferio norte. Son muy frecuentes en los suelos nitrófilos cuyos pólenes han sido citados en la atmósfera de numerosas localidades europeas y norteamericanas (Spieksma, 1991).

El polen de *Rumex* ocupó la décima posición entre los tipos polínicos más relevantes en la atmósfera de Málaga, con el 1,41% del espectro polínico total y un índice polínico anual promedio de 477 durante los años estudiados. Este tipo polínico se ha detectado en la atmósfera de Málaga desde febrero hasta julio en cantidades bajas o moderadas con registros máximos detectados en los meses de abril-mayo, coincidiendo con los datos registrados en el área mediterránea (Nilsson & Spieksma, 1992).

Un comportamiento similar de este tipo ha sido registrado en localidades cercanas de la misma provincia como Nerja (Docampo, 2008), Vélez-Málaga (Trigo *et al.*, 2007), Antequera (Recio *et al.*, 2000) y Estepona (Toro *et al.*, 1997) mientras que se registraron niveles inferiores en Granada (Alba, 1997), Almería (Sabariego, 2003) y Jaén (Ruiz, 2001). En otras localidades españolas como Ciudad Real (Prieto *et al.*, 2002), León (Vega Maray *et al.*, 2002b) y Extremadura (Silva *et al.*, 2002; Galán *et al.*, 2016) se registran índices anuales cercanos a los 1.000.

A pesar del gran número de correlaciones obtenidas entre las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* y los parámetros meteorológicos durante el periodo pre-pico, los modelos de pronóstico presentaron coeficientes de determinación bajos, aunque de punto de vista estadístico fueron significativos (Tabla 4.127).

Sin embargo, al incluir otras variables tanto la D-media como la concentración del día anterior, se consiguió obtener una cierta mejoría del coeficiente de determinación llegando a alcanzar un  $R^2=0,355$ . Por otro lado, si tenemos en cuenta los resultados de la validación de los datos observados con los esperados del año 2016 utilizando el mejor modelo obtenido (5b), podemos concluir que, aunque hemos obtenido una correlación estadísticamente significativa entre ambas series de datos (Tabla 4.128), aparecen diferencias significativas entre los promedios de ambas series, utilizando la prueba de *Wilcoxon*, por lo que no se puede aceptar este modelo para predecir las concentraciones medias diarias del polen de *Rumex* durante el periodo pre-pico.



**Figura 4.170.** Variación intradiaria del polen de *Rumex* para cada año del periodo estudiado (barras), así como valores promedios (1992-2015) (líneas).

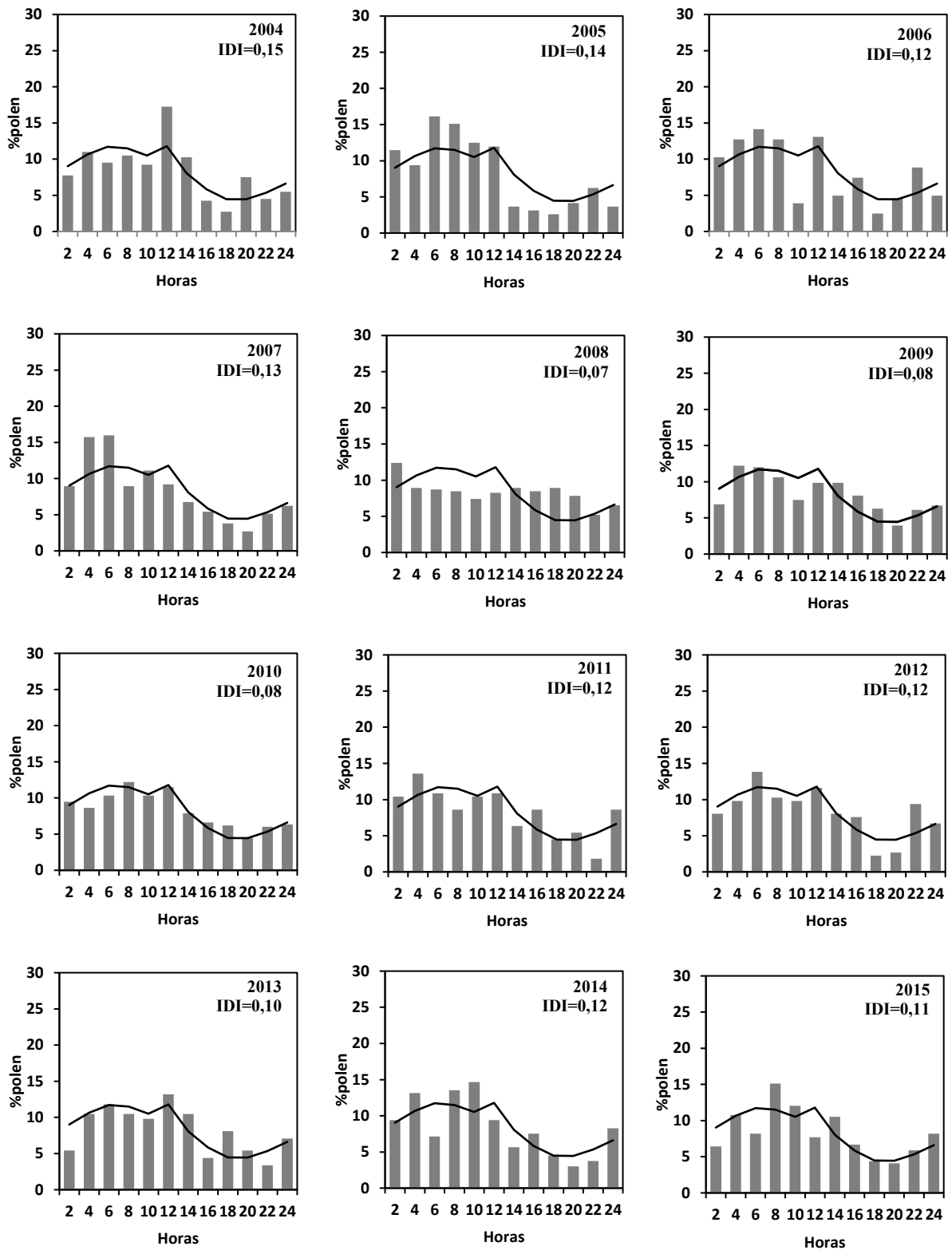


Figura 4.170. Continuación.



En el presente trabajo se ha observado una tendencia no significativa a la disminución de los índices polínicos anuales del polen *Rumex* a lo largo del periodo estudiado. En un trabajo llevado a cabo por Galán *et al.* (2016) se han observado resultados similares, mostrando tendencias negativas, pero no significativas de los niveles totales del polen de *Rumex* en localidades como Granada, Badajoz y Santiago durante un periodo que va desde 1994 hasta 2013.

En lo que a los parámetros meteorológicos se refiere, se ha mencionado en trabajos previos que las precipitaciones prestaciones favorecen el aumento de las concentraciones polínicas, sobre todo en el caso de las plantas herbáceas (Recio *et al.*, 1997; Galán *et al.*, 2000; García-Mozo *et al.*, 2009). Este punto puede ser confirmado en nuestro estudio ya que, a lo largo del periodo estudiado, se observó un ligero descenso en las lluvias registradas en Málaga, lo que podría explicar la tendencia a la disminución del polen de *Rumex*. Sin embargo, podemos decir que el comportamiento observado en índice polínico anual de este tipo polínico en nuestra área de estudio, puede estar relacionado también con los cambios recientes en las estrategias de planificación urbana, que implica un aumento de la superficie urbanizada y una reducción de los solares abandonados en los últimos años de estudio.

La duración del periodo de polinación principal del polen de *Rumex* presenta un promedio de 114 días y se caracterizó por una tendencia al alargamiento de la misma, aunque no es estadísticamente significativa durante el periodo estudiado (1992-2015). Durante las estaciones polínicas más largas se alcanzaron los niveles más bajo del polen de *Rumex* mientras se registraron niveles más elevados durante las estaciones polínicas más cortas. Un comportamiento similar ha sido observado in Szczecin (Puc, 2006) y además in Lubin (Piotrowska, 2012). Las diferencias de los registros de *Rumex* de un año a otro, ha sido explicado como consecuencia de la diferencia internanual en cuando a las condiciones meteorológicas se refiere, fundamentalmente el periodo pre-estacional, como es el caso de las temperaturas (media, mínima, máxima), las horas de sol y la humedad relativa (Cenci & Ceschia, 2000; Sánchez- Mesa *et al.*, 2005; Alcázar *et al.*, 2009).

Por otro lado, se ha observado una tendencia al adelanto no significativo en el inicio de la estación polínica de *Rumex*, así como una tendencia al retraso, que tampoco fue significativo, en el final de la estación polínica. Un estudio llevado a cabo en Póznán muestra un patrón similar de este tipo polínico, en el periodo 1995-2005, con tendencias no significativas (Bogawaski *et al.*, 2014).

Algunos autores sostienen que la cause de este comportamiento puede ser el que se hayan registrado incrementos en las temperaturas, lo que habría dado lugar a un avance en la fecha de inicio de la polinación de algunas plantas herbáceas en toda Europa durante las últimas décadas (Frenguelli *et al.*, 2002; Van Vliet *et al.*, 2002; Clot, 2003; Stach *et al.*, 2007; García-Mozo *et al.*, 2010a; Makra *et al.*, 2011, Ghitarrini *et al.*, 2017). Además, se ha observado una tendencia de adelanto en la fecha del día pico, acompañado por una ligera tendencia al aumento no significativo del valor de la concentración del día pico en nuestra área de estudio, aunque los picos registrados fueron bajos, con máximos de 70 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2000) (Fig. 4.160). Este puede estar relacionado con el aumento observado de las temperaturas en Málaga durante los meses de abril-mayo, a lo largo de los 24 años de estudio. Si nos fijamos en los resultados obtenidos de la dinámica del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga durante dicho periodo, se observa que

este tipo polínico presentó un comportamiento relativamente estable en cuando al final de la estación, con un coeficiente de variación igual a 6%.

En cuando al patrón de la distribución intradiaria del polen de *Rumex* en la atmósfera de Málaga, se observan pequeños incrementos en las primeras 12 horas del día, pero con una tendencia a la disminución de las concentraciones durante la tarde, mostrando un comportamiento similar al detectado en Porto (Ribeiro & Abreu, 2014) mientras en Córdoba (Galán *et al.*, 1991) y Münster (Melgar, 2010) se estable una pauta más marcada, con un mayor porcentaje de granos de polen, en las horas del mediodía.

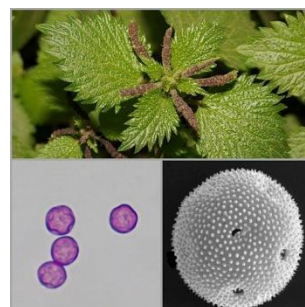
En lo que al alergenicidad se refiere, en España, en la provincia de Burgos, el 15% de los pacientes alérgicos al polen mostraron sensibilidad a los extractos de *Rumex* (Carretero *et al.*, 2005), mientras que en Málaga este porcentaje desciende al 7% (Torrecillas *et al.*, 1998), cantidad comparable al del número de personas alérgicas a otros tipos polínicos mucho más abundantes como Cupressaceae o *Quercus* (Recio *et al.*, 1998a). Y en A Coruña este tipo presenta una incidencia del 34% (Ferreiro *et al.*, 1998). Las especies del género *Rumex* se caracterizan por una alta producción de polen, ya que una planta puede producir alrededor de 400 millones de granos (Puc, 2003). En el presente trabajo, se ha observado una tendencia a la disminución negativa pero no significativa, en el número de días sin granos de polen ( $<1$  g.p./m<sup>3</sup>), al tiempo que aparece una tendencia positiva, con un coeficiente de determinación significativo ( $p < 0,05$ ), en cuanto al número de días con la categoría 1-25 g.p./m<sup>3</sup> (Fig. 4.162), lo que podrían incidir negativamente en las personas alérgicas a este tipo de polen.

El polen de *Rumex* ha sido señalado por muchos autores como causante de polinosis en London, Leiden, Brusela, Munich y Marseilla (Spieksma *et al.*, 1980), Atena (Apostolou & Yannitsaros, 1977) y Zurich (Helbing *et al.*, 1985). En España, el polen de *Rumex* ha sido catalogado como alérgico en ciudades como Salamanca (Hernández Prieto *et al.*, 1998), Murcia (Munuera & García, 2002), Sevilla (González *et al.*, 1998), y también en Málaga (García *et al.*, 1998), así como en Islas canarias (García *et al.*, 1997). Sin embargo, su relevancia clínica puede estar infravalorada debido a la coincidencia de su floración con la de otros tipos alérgicos más abundantes en el aire, como *Olea* y Poaceae (Maasch y Geissler, 1983; Docampo, 2008).



### 4.3.13. Tipo polínico *Urtica membranacea*

*Urtica membranacea* Poir. Es una especie abundante en toda la región Mediterránea. En la Península Ibérica aparece principalmente en las zonas costeras, siendo muy frecuente como mala hierba de cultivos, pero se puede encontrar también en bordes de caminos y terrenos húmedos y sombreados. Se puede utilizar en la alimentación humana y también en usos terapéuticos.



#### 4.3.13.1. Descripción botánica

Hierba anual, monoica o dioica, con pelos urticantes dispersos. Tallos simples, erectos. Hojas cordiforme-lanceoladas, redondeadas o subcordadas en la base, dentado serradas, con el haz glabra. Pecíolo más corto que el limbo. Nudos con 4 estipulas soldadas por pares, de manera que simulan dos estipulas bidentadas. Flores masculinas con perianto de cuatro piezas iguales, elípticas y obtusas; las femeninas con perianto de cuatro piezas desiguales, las dos internas de mayor tamaño. Ovario aplanado-ovoideo, con estigma subsésil, capitado. Los frutos son pequeños aquenios que quedan incluidos en las piezas del perianto, que son acrescentes.

#### 4.3.13.2. Periodo de floración/polinización

En general, florece en primavera durante los meses de marzo y abril, superponiéndose con *Parietaria*. La polinización es de tipo anemófila.

#### 4.3.13.3. Morfología polínica

Polen polipantoporado. Apolar y radiosimétrico. Esferoidal. Tamaño pequeño. Aberturas simples de tipo poro. Los poros presentan un anillo difuso y opérculo que se desprende con facilidad. Exina de 0.5-1  $\mu\text{m}$  de grosor, con la superficie equinulada. Téctum completo; infratectum columelado. Superficie con gran cantidad de espínulas uniformes y densamente distribuidas por toda la superficie.

#### 4.3.13.4. Variación interanual

Dado que no se dispone de los datos de los años 1992-1994 se optó a analizar la dinámica del tipo polínico de *Urtica membranacea* durante el periodo 1995-2015. Así, este tipo representó un 1,14% del espectro polínico del periodo estudiado, ocupando la posición número trece en orden de abundancia. Se observa que existen grandes diferencias interanuales de los IPAs de este tipo polínico, ya que oscilaron entre 204 (año 2000) y 953 (año 2013) con un índice polínico anual medio de 440. Exceptuando los años 1997, 1998, 1999, 2000, 2003 y 2005, este tipo polínico se puede considerar como abundante, participando con más del 1% en el contenido total en la atmósfera de Málaga durante el periodo analizado. Los niveles máximos fueron detectados más frecuentemente durante la semana 13, pero fueron oscilando entre la semana 7 y la 16 a lo largo del periodo completo de estudio (Tabla 4.129).

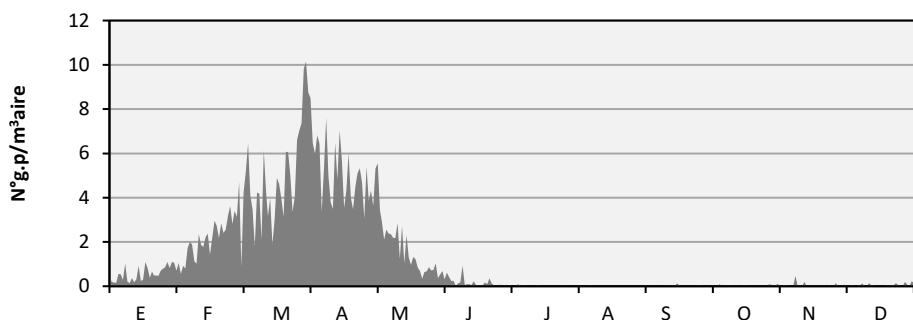


| Años  | IPA | % anual | Semana pico |
|-------|-----|---------|-------------|
| 1995  | 349 | 1,70    | 12          |
| 1996  | 772 | 1,81    | 13          |
| 1997  | 224 | 0,34    | 7           |
| 1998  | 338 | 0,99    | 14          |
| 1999  | 429 | 0,94    | 10          |
| 2000  | 204 | 0,63    | 17          |
| 2001  | 742 | 1,69    | 12          |
| 2002  | 381 | 1,22    | 10          |
| 2003  | 333 | 0,84    | 9           |
| 2004  | 308 | 1,22    | 16          |
| 2005  | 253 | 0,59    | 13          |
| 2006  | 454 | 1,68    | 12          |
| 2007  | 627 | 1,35    | 9           |
| 2008  | 481 | 1,50    | 11          |
| 2009  | 489 | 1,18    | 14          |
| 2010  | 466 | 1,15    | 13          |
| 2011  | 364 | 1,31    | 13          |
| 2012  | 204 | 0,69    | 14          |
| 2013  | 953 | 2,29    | 13          |
| 2014  | 552 | 1,35    | 9           |
| 2015  | 316 | 1,04    | 13          |
| Media | 440 | 1,14    | 12          |

**Tabla 4.129.** Índice polínico anual, % anual y semana pico del tipo polínico *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

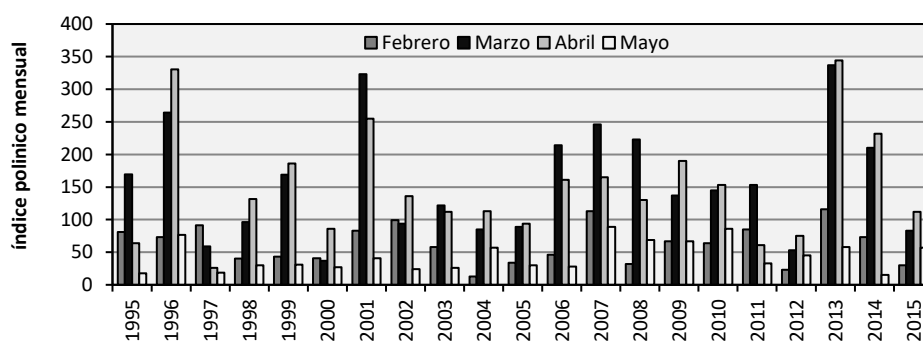
#### 4.3.13.5. Variación estacional

Al considerar el periodo completo analizado, se observa que las concentraciones medias diarias del polen de *U. membranacea* se detectan en el aire durante un periodo prolongado, pero fundamentalmente comprendido entre el mes de enero hasta finales de mayo (Fig. 4.171). Así, los niveles máximos de este tipo polínico se alcanzan durante los meses de febrero, marzo y abril, si bien los promedios de concentraciones medias diarias (D-media) obtenidos fueron relativamente bajos ya que no superan los 10 granos de polen/m<sup>3</sup> para los 21 años analizados. En enero y mayo los niveles detectados son bajos, al igual que durante el mes de junio en que aparecen concentraciones medias diarias muy bajas o nulas.



**Figura 4.171.** Valores promedio de la concentración media diaria del polen *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

Considerando cada año por separado, se observa que los índices polínicos mensuales máximos fueron detectados entre los meses de marzo y abril, ocurriendo más frecuentemente en el mes de abril, con totales que varían entre 26 y 344 y con valor medio de 150. Aunque, el mes de marzo fue considerado como el segundo mes en cuanto a máximos mensuales, desde el punto de vista del índice polínico medio, se obtuvo un valor medio de 158, superior al obtenido en el mes de abril. Cabe señalar que solamente en el año 1997, las concentraciones máximas de este tipo aparecieron en el mes de febrero con un índice polínico mensual de 91 en comparación con los totales de marzo (59) y abril (26), registrándose para ese mismo año (Fig. 4.172).



**Figura 4.172.** Índices polínicos mensuales obtenidos en febrero, marzo, abril y mayo para el tipo polínico *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

Al considerar cada año por separado, se observa un patrón similar de la distribución de las concentraciones medias diarias, con una marcada estacionalidad entre los meses de enero hasta finales de mayo. Existen diferencias en cuanto a las fechas en las que se detectan los picos máximos, si bien aparecen varios picos de diferentes intensidades a lo largo de cada año, que se suceden entre los meses de marzo y abril con máximos históricos de 42 g.p./m<sup>3</sup> (mes de marzo 2014) y 59 g.p./m<sup>3</sup> (mes de abril 2013). Cabe destacar que en los años 1997, 1998 y 2005, se registraron los máximos de concentraciones medias diarias en el mes de febrero, con un pico histórico para este mes de 19 g.p./m<sup>3</sup>. Si nos fijamos en la dinámica de las concentraciones medias diarias, se observa que éstas fueron muy inferiores a la curva promedio durante los años 1997,

2012 (Fig. 4.173), mientras que llama la atención los valores alcanzados en los años 1996, 2001, 2007, 2013 y 2014 especialmente.

#### 4.3.13.6. Periodo de polinación principal

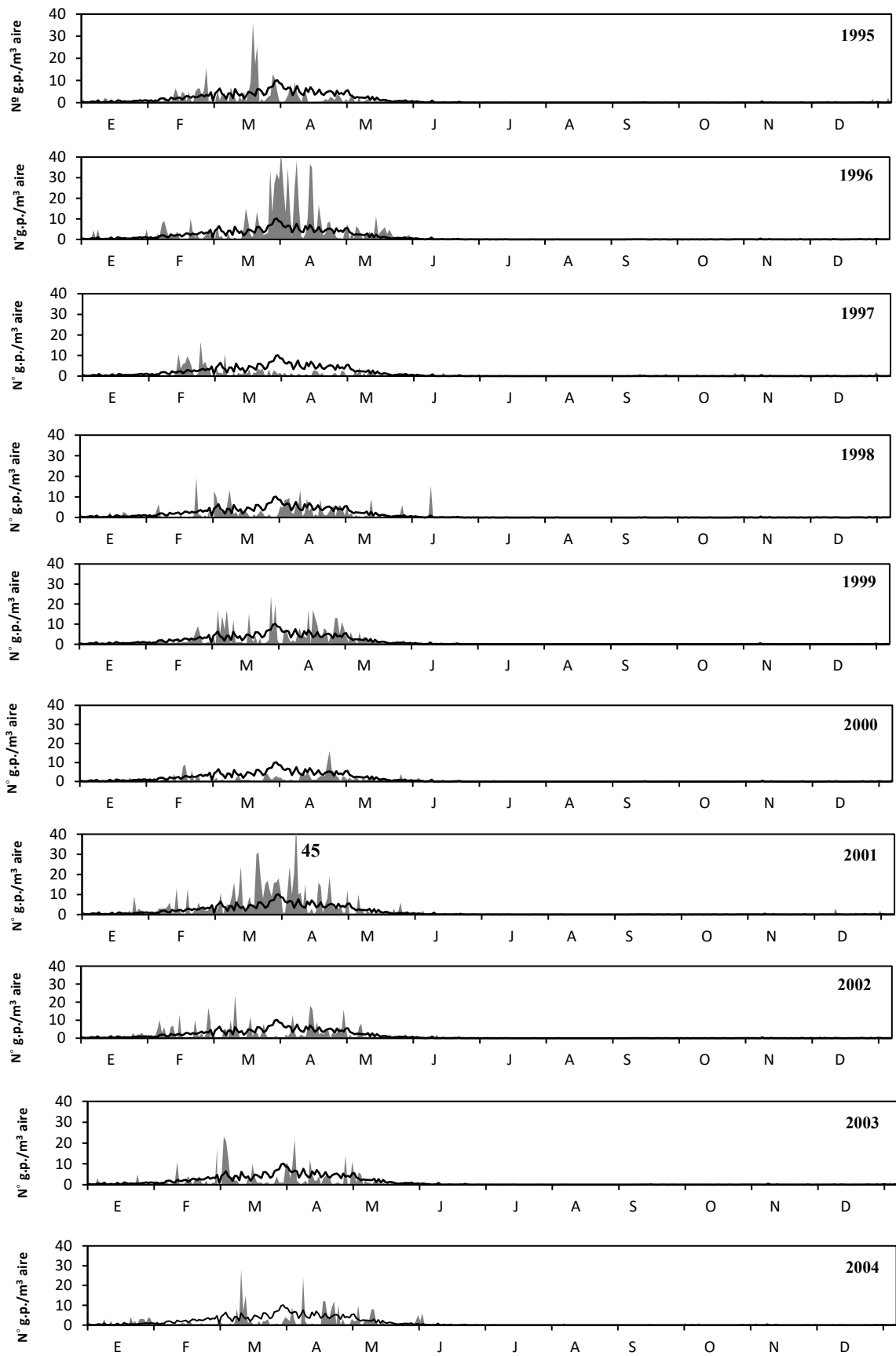
En la tabla 4.130 se muestran los resultados del comportamiento del tipo polínico *Urtica membranacea* durante los años 1995-2015. Así, este tipo polínico se caracteriza por tener un PPP extenso, con duración media de 137 días, aunque muestra un comportamiento relativamente estable, destacando los años 1999, 2006 y 2007 por presentar los PPPs más cortos de 82, 92 y 93 días de duración, respectivamente. Por otro lado, se observó una duración muy prolongada del PPP en los años 1997 (260), 2012 (257) y 2015 (279). El índice polínico fue oscilando entre un mínimo de 195 (año 2012) y un máximo de 908 (año 2013), con una media de 420 durante el periodo 1995-2015.

La fecha media del inicio del PPP de *Urtica membranacea* fue el día 29 de enero mientras que el final de la estación se corresponde con el 14 de junio. Si nos fijamos en cada año por separado, observamos que aparecen diferencias de un año a otro en cuando al inicio y al final de la estación polínica se refiere, a pesar de que las fechas obtenidas se localizaron generalmente durante los meses de enero y junio, respectivamente. De hecho, la fecha más temprana de inicio fue el día 7 de enero mientras la más tardía fue el 16 de febrero. Por otro lado, las fechas de final del PPP fueron algo más estables, ya que oscilaron entre el 7 de mayo y el 7 de junio, con excepción de de los años 1997, 2012, 2015 en que la estación polínica terminó a finales del mes de octubre (los días de 28, 25 y 26 respectivamente).

En lo que se refiere a la fecha del día pico, ésta se sitúa en el 21 de marzo como promedio del periodo completo, obteniéndose una concentración de 27 granos de polen/m<sup>3</sup> como media. El comportamiento de los días picos fue poco estable, al igual que las concentraciones máximas registradas. El pico máximo ha fluctuado entre un mínimo de 10 g.p./m<sup>3</sup> (año 2012) y un máximo de 59 g.p./m<sup>3</sup> (año 2013).

La duración del periodo post-pico del polen de *Urtica membranacea* fue mayor que del periodo pre-pico con una media de 85 días y un índice polínico medio de 248, mientras que el pre-pico tuvo con una duración media de 51 días y un índice polínico medio de 172. Sin embargo, en ambos casos, se ha observado un patrón poco estable de un año a otro durante el periodo estudiado.

## Resultados



**Figura 4.173.** Concentraciones medias diarias de polen de *Urtica membranacea* en Málaga durante los años estudiados (1995-2015) y valor promedio (línea).

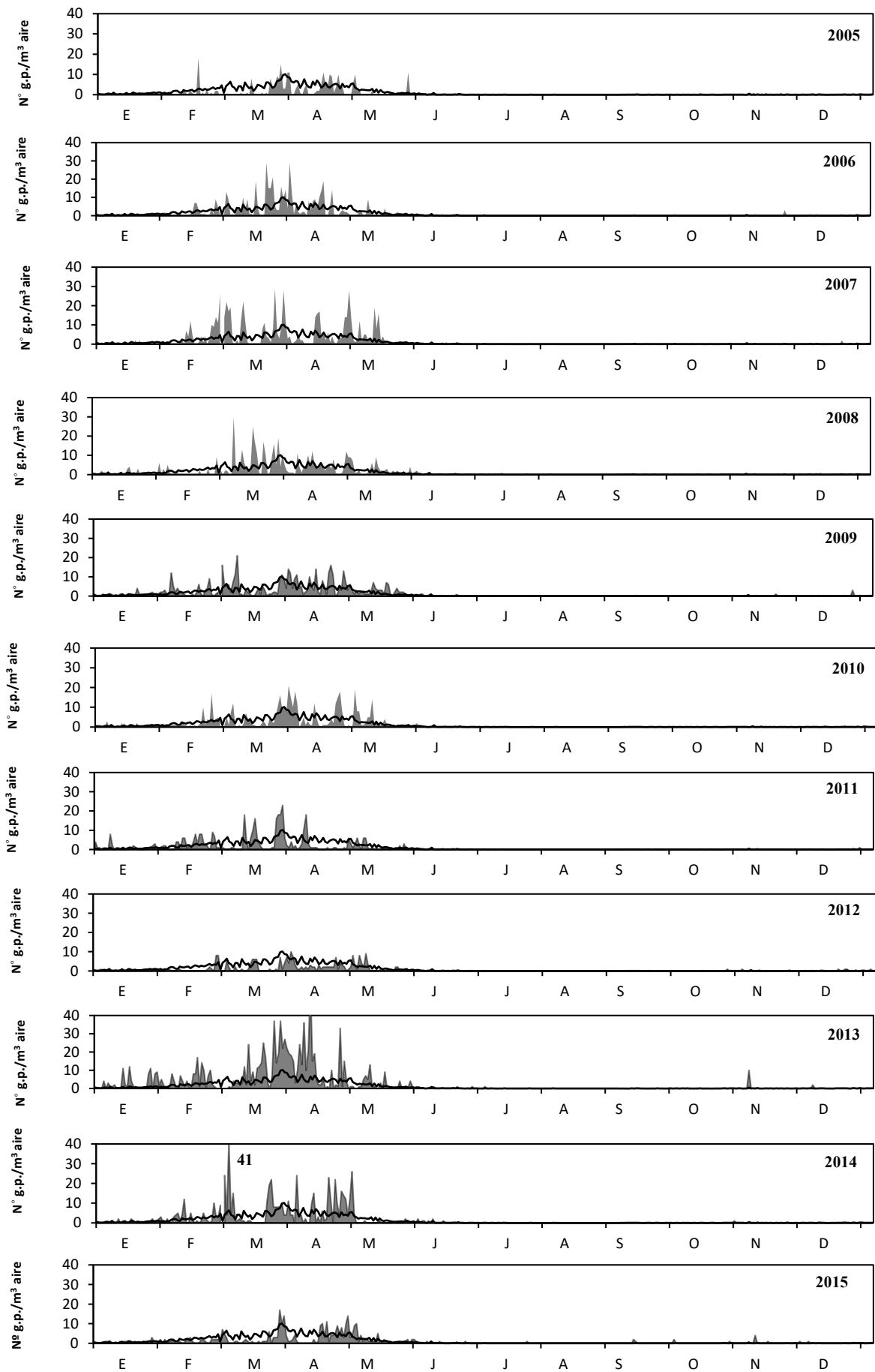


Figura 4.173. Continuación.

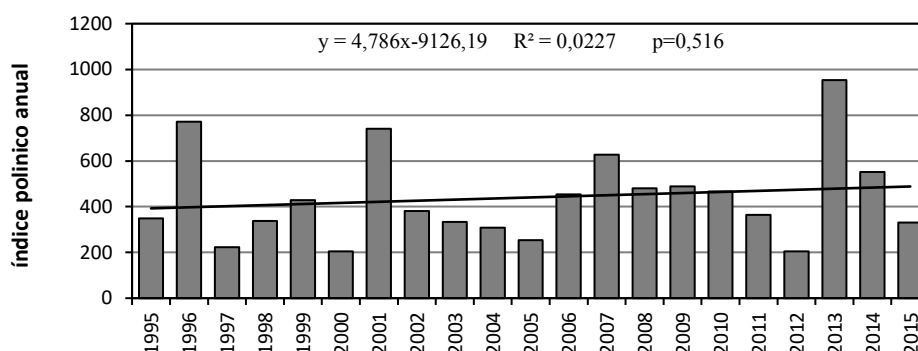
| Año       | PPP (95%)               |          |               | Valores máximos |  | Pre-pico |               | Post-pico |               |
|-----------|-------------------------|----------|---------------|-----------------|--|----------|---------------|-----------|---------------|
|           | Periodo<br>Inicio-Final | Duración | Total<br>(IP) | Día pico        | Nº g.p./m <sup>3</sup><br>Media diaria | Duración | Total<br>(IP) | Duración  | Total<br>(IP) |
| 1995      | 27-01(27)/13-05 (133)   | 107      | 332           | 18-03 (78)      | 36                                     | 51       | 136           | 56        | 196           |
| 1996      | 27-01(27)/18-05 (139)   | 113      | 735           | 31-03 (91)      | 42                                     | 64       | 301           | 49        | 434           |
| 1997      | 12-02 (43)/28-10 (302)  | 260      | 216           | 23-02 (54)      | 17                                     | 11       | 53            | 249       | 163           |
| 1998      | 16-01 (16)/06-06 (158)  | 143      | 313           | 22-02 (53)      | 19                                     | 37       | 25            | 106       | 288           |
| 1999      | 16-02 (47)/07-05 (128)  | 82       | 407           | 27-03 (87)      | 24                                     | 40       | 150           | 42        | 257           |
| 2000      | 02-02 (33)/07-06 (158)  | 127      | 195           | 22-04 (112)     | 16                                     | 80       | 126           | 47        | 69            |
| 2001      | 26-01 (26)/22-05 (143)  | 119      | 710           | 06-04 (97)      | 45                                     | 71       | 485           | 47        | 219           |
| 2002      | 22-01 (22)/10-05 (131)  | 110      | 353           | 10-03 (70)      | 24                                     | 48       | 137           | 62        | 216           |
| 2003      | 22-01 (22)/10-05 (131)  | 110      | 319           | 02-03 (62)      | 23                                     | 40       | 69            | 56        | 250           |
| 2004      | 17-01(17)/05-06 (157)   | 141      | 295           | 10-03(70)       | 28                                     | 53       | 51            | 88        | 244           |
| 2005      | 11-02 (42)/26-05 (145)  | 106      | 247           | 17-02 (48)      | 18                                     | 6        | 4             | 100       | 240           |
| 2006      | 15-02 (46)/16-05 (137)  | 92       | 438           | 01-04 (92)      | 29                                     | 46       | 256           | 46        | 182           |
| 2007      | 11-02 (42)/13-05 (134)  | 93       | 599           | 25-03 (85)      | 29                                     | 43       | 267           | 50        | 332           |
| 2008      | 17-01 (17)/26-05 (146)  | 131      | 462           | 07-03 (67)      | 30                                     | 50       | 51            | 81        | 411           |
| 2009      | 23-01 (23)/24-05 (145)  | 123      | 466           | 08-03 (68)      | 21                                     | 45       | 129           | 78        | 337           |
| 2010      | 29-01 (29)/19-05 (140)  | 112      | 444           | 31-03 (91)      | 21                                     | 62       | 190           | 50        | 254           |
| 2011      | 07-01 (07)/08-05 (129)  | 123      | 349           | 29-03 (89)      | 23                                     | 82       | 232           | 41        | 117           |
| 2012      | 10-02 (41)/23-10 (297)  | 257      | 195           | 02-04 (93)      | 10                                     | 52       | 78            | 205       | 117           |
| 2013      | 14-01 (15)/22-05 (144)  | 130      | 908           | 10-04 (102)     | 59                                     | 87       | 681           | 43        | 227           |
| 2014      | 31-01 (31)/25-05 (146)  | 116      | 528           | 03-03 (63)      | 41                                     | 32       | 104           | 84        | 424           |
| 2015      | 22-01 (22)/26-10 (299)  | 279      | 302           | 29-03 (88)      | 17                                     | 66       | 81            | 213       | 221           |
| 1995-2015 | 29-01 (29)/14-06 (165)  | 137      | 420           | 21-03 (80)      | 27                                     | 51       | 172           | 85        | 248           |

Tabla 4.130. Indicadores del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el PPP (periodo 1995-2015).

#### 4.3.13.7. Estudio de tendencias

##### ▪ Índice polínico anual

Los índices polínicos anuales de *Urtica membranacea* se caracterizan por presentar variaciones interanuales muy marcadas a lo largo del periodo 1995-2015. El análisis de la evolución de parámetro mediante la regresión lineal ha mostrado una ligera tendencia al aumento, no significativo, en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.174). Este hecho ha sido confirmado también mediante la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=0,100$ ;  $Q=0,546$ ). La magnitud del incremento de los IPAs fue de signo positivo, con un valor de la pendiente de *Sen* igual a 5,84 (Tabla 4.131).



**Figura 4.174.** Evolución del índice polínico anual del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1995-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1995   | 2015  | 21 | 0,100             | 0,546 | 5,84             |

**Tabla 4.131.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1995-2015).

##### ▪ Niveles del polen de *Urtica membranacea*

Se analizó la evolución del número de días considerando los diferentes niveles de las concentraciones de polen de *Urtica membranacea* en la localidad de Málaga, según la categoría del grupo 1 establecido por la REA (Galán *et al.*, 2007). En la tabla 4.132, se observa que un comportamiento bastante estable en cuanto a los días con niveles nulos ( $<1$  g.p./m<sup>3</sup>). En cuando a los niveles bajos (1-15 g.p./m<sup>3</sup>), se observó un comportamiento poco estable, variando entre un mínimo de 58 y un máximo de 123. Por otra parte, la dinámica de los días con los niveles moderados y altos fue muy heterogénea, con coeficiente de variación del 78 y 235%, respectivamente. Así, se observó sólo un máximo de 13 días con concentraciones medias diarias entre 16-30 g.p./m<sup>3</sup> de este tipo polínico durante el periodo completo, un comportamiento similar fue también observado con la última categoría ya que se registraron 7 días como máximo en los que se alcanzaron concentraciones medias diarias superiores a 30 g.p./m<sup>3</sup>, lo que muestra una escasa frecuencia con un porcentaje muy alto del coeficiente de variación (235%).

| Niveles                           | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típica | Cv (%) |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------------|--------|
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>    | 239    | 305    | 274   | 18           | 7      |
| Nº días 1-15g.p./m <sup>3</sup>   | 58     | 123    | 85    | 16           | 19     |
| Nº días 16-30 g.p./m <sup>3</sup> | 0      | 13     | 5     | 4            | 78     |
| Nº días >30 g.p./m <sup>3</sup>   | 0      | 7      | 1     | 2            | 235    |

Tabla 4.132. Número de días al año con diferentes niveles de concentraciones de polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga (1995-2015).

El análisis de *Mann-Kendall* revela que existe una tendencia negativa pero no significativa en el nº días con niveles nulos (<1g.p./m<sup>3</sup>) de polen de *Urtica membranacea*, mientras en los siguientes niveles tanto bajo, como moderado, la tendencia fue positiva, lo que indica un aumento del número de días con esos niveles, aunque los coeficientes de determinación tampoco fueron estadísticamente significativos. A pesar de que el nº de días con niveles altos (>30 g.p./m<sup>3</sup>) mostraron una recta de tendencia negativa, el valor de la pendiente de *Sen* fue igual a cero. Esto significa que, para este tipo polínico, no se podría determinar ningún patrón en cuanto a la tendencia de las concentraciones medias diarias superiores a 30 g.p./m<sup>3</sup>, se refiere (Tabla 4.133, Fig. 4.175).

| Nº días = f (g.p./m <sup>3</sup> ) | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|------------------------------------|-------------------|-------|------------------|
|                                    | Z                 | Sig.  | Q                |
| Nº días <1 g.p./m <sup>3</sup>     | -0,298            | 0,065 | -1,213           |
| Nº días 1-15 g.p./m <sup>3</sup>   | 0,237             | 0,146 | 0,75             |
| Nº días 16-30 g.p./m <sup>3</sup>  | 0,169             | 0,313 | 0,167            |
| Nº días >30 g.p./m <sup>3</sup>    | -0,095            | 0,625 | 0                |

Tabla 4.133. Resumen de los resultados del test de tendencia de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, para los niveles de polen de *Urtica membranacea*, en la atmósfera de Málaga durante los años de estudio (1995-2015).

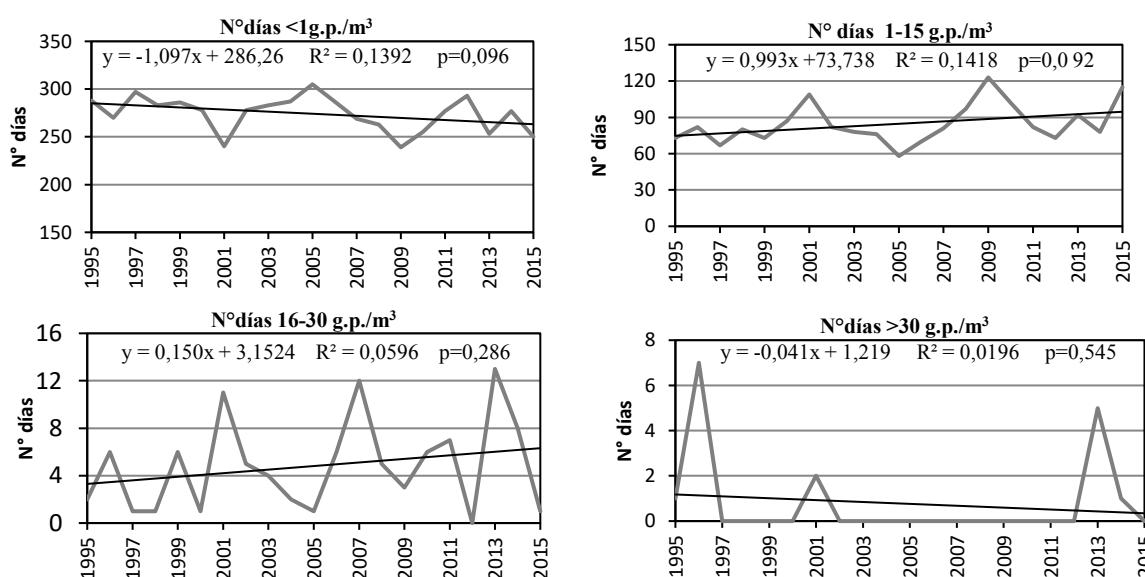


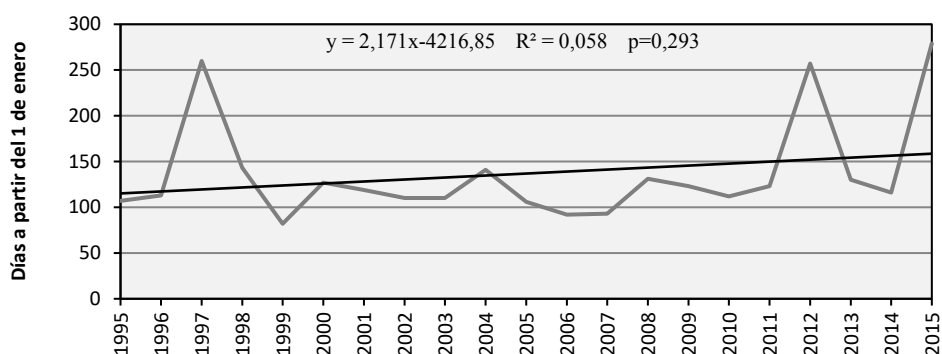
Figura 4.175. Evolución del número de días en los que se registran distintos niveles de concentraciones del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).





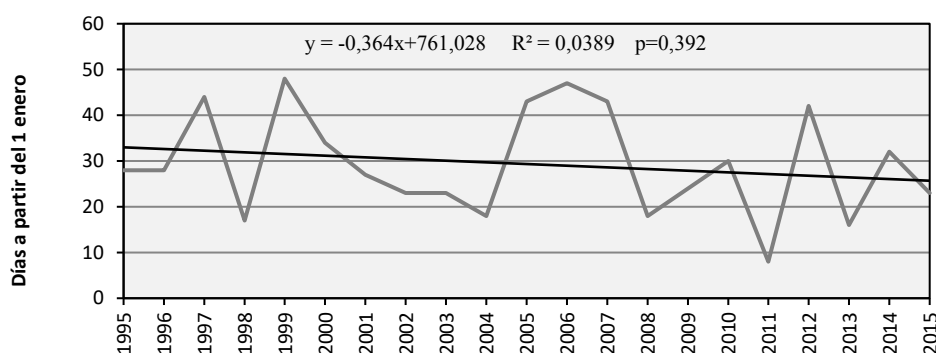
### ▪ Parámetros del PPP

Se observa que este tipo polínico presentó un patrón heterogéneo en lo que a **la duración del PPP** se refiere, a lo largo de los 21 años de estudio, con un porcentaje de variación del 40% (Fig. 4.176). El estudio de regresión, así como la prueba de *Mann-Kendall*, muestran una tendencia positiva, aunque estadísticamente no significativa, lo que se traduce en un alargamiento de la duración del PPP de este tipo polínico a lo largo del periodo estudiado. El valor de la pendiente de *Sen* fue de 0,843 (Tabla 4.134).



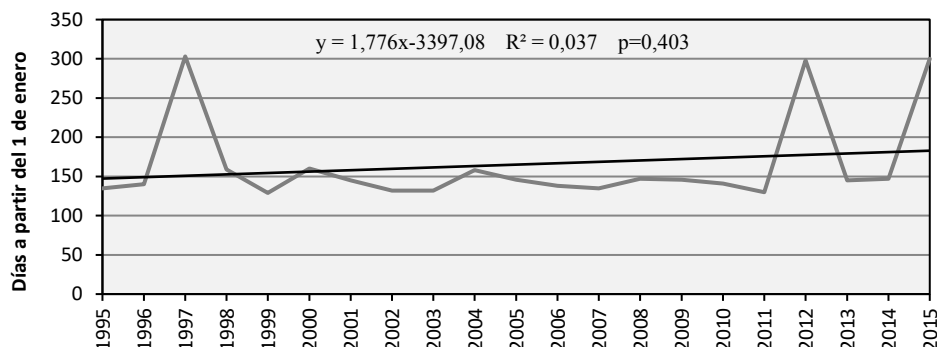
**Figura 4.176.** Evolución y tendencia de la duración del PPP del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

En cuando a la fecha de **inicio de la estación polínica** de *Urtica membranacea*, ésta se caracterizó por presentar un comportamiento variable ya que la evaluación de la dinámica de este parámetro mostró un coeficiente de variación del 40% durante el periodo completo de estudio (1995-2015). El análisis estadístico mostró una tendencia negativa, aunque no significativa ( $Z=-0,174$ ,  $p=0,289$ ) que indica un ligero adelanto en el comienzo de la estación polínica. En la prueba de estimación de la pendiente de *Sen* se obtuvo un valor de signo negativo igual a  $-0,28$  (Fig. 4.177, Tabla 4.134).



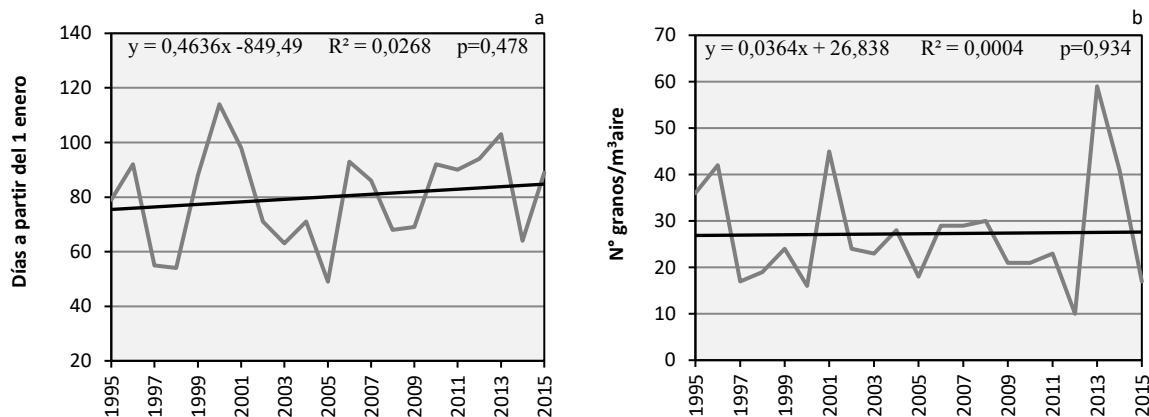
**Figura 4.177.** Evolución y tendencia del inicio del PPP del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

El **final del periodo de polinación principal** de *Urtica membranacea* mostró una tendencia positiva pero estadísticamente no significativa (Fig. 4.178), indicando un retraso en el final del PPP según los datos del test de *Mann-Kendall* ( $Z=0,120$ ,  $p=0,468$ ), lo que coincide con los resultados de la regresión lineal con ausencia de una tendencia significativa ( $R^2=0,037$ ;  $p=0,403$ ). En este caso, el valor de la pendiente de *Sen* fue igual a 0,31 (Tabla 4.134).



**Figura 4.178.** Evolución y tendencia del final del PPP del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

El **día pico** mostró variaciones muy marcadas a lo largo del periodo estudiado con un porcentaje de variación del 21%. Así, evaluando el periodo completo, se puede ver que este parámetro mostró una tendencia positiva (Fig. 4.179a) pero no significativa ( $Z=0,115$ ,  $p=0,487$ ). En lo que se refiere al **valor pico** de este tipo polínico (Fig. 4.179b), no se ha obtenido ninguna tendencia, ya que se obtuvo un coeficiente de determinación nulo ( $R^2=0,0004$ ), si bien apareció una tendencia negativa mediante la prueba de *Mann-Kendall* con un coeficiente  $Z$  muy bajo ( $-0,024$ ) al igual que el valor de la pendiente de *Sen* ( $-0,02$ ) (Tabla 4.134).



**Figura 4.179.** Evolución y tendencia de la fecha en que se produce el día pico del *Urtica membranacea* (a) y valor de la concentración del mismo (b) en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

| Parámetros   | Mann-kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|--------------|-------------------|-------|------------------|
|              | Z                 | Sig.  | Q                |
| Inicio PPP   | -0,174            | 0,289 | -0,28            |
| Final PPP    | 0,120             | 0,468 | 0,31             |
| Duración PPP | 0,153             | 0,349 | 0,84             |
| Día pico     | 0,115             | 0,487 | 0,51             |
| Valor pico   | -0,024            | 0,904 | -0,02            |

**Tabla 4.134.** Resumen de los resultados del test de *Mann-kendall* y de la pendiente de *Sen* para los parámetros relacionados con el PPP del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

#### 4.3.13.8. Análisis de correlación

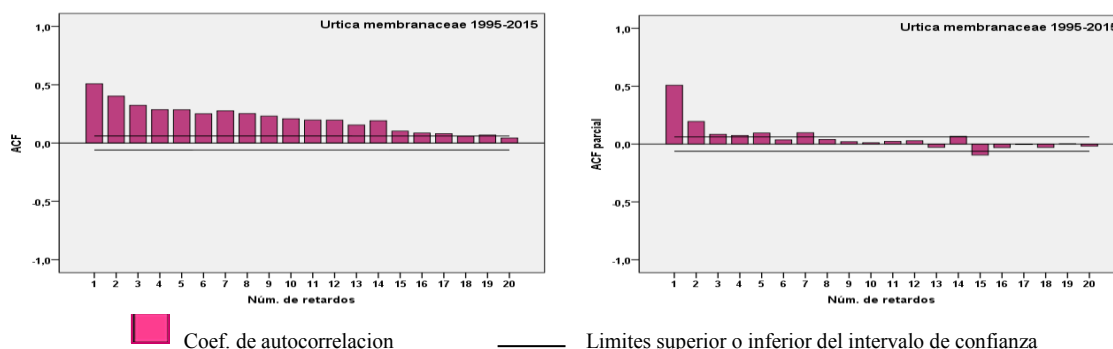
Al analizar el PPP en su conjunto, se obtuvieron coeficientes de correlación negativos y significativos entre las concentraciones medias diarias de polen y los parámetros del calor (temperaturas y horas de sol). Por otra parte, también se obtuvieron coeficientes de correlación negativos y significativos con el viento del primer, y segundo cuadrante y con las calmas, mientras que fueron positivos y significativos con el viento de cuarto cuadrante y también con la velocidad media del viento. Tras separar los periodos pre- y post-pico, aparecieron coeficientes de correlación positivos y significativos con la temperatura máxima y media. Resultado similar se observó con las horas de sol, con coeficiente positivo y significativo. Sin embargo, con las precipitaciones y la humedad relativa se obtuvieron coeficientes negativos y significativos. En el caso de la dirección de los vientos, se obtuvieron coeficientes de correlación negativos y significativos con el viento de segundo cuadrante mientras fueron de signo positivo con los vientos de tercer y cuarto cuadrante. Sin embargo, durante el post-pico, los coeficientes de correlación con las temperaturas y horas de sol cambiaron de signo ya que aparecieron valores significativos y de signo negativo. Por otra parte, se observó que las precipitaciones mostraron coeficientes de correlación positivos y significativos. Con la dirección del viento, se observaron correlaciones significativas y negativas con el viento de primer y segundo cuadrante mientras que con el viento de cuarto cuadrante el coeficiente de correlación sigue significativo y positivo, al igual que ocurre con la velocidad media del viento. Por último, se observó un coeficiente de correlación negativo y significativo con las calmas que había resultado ser no significativo durante el periodo pre-pico (Tabla 4.135).

|                           | PPP<br>N=2857 | Pre-pico<br>N=1058 | Post-pico<br>N=1799 |
|---------------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| <b>Precipitación</b>      | 0,009         | -0,074*            | 0,073*              |
| <b>T<sup>a</sup>. max</b> | -0,133*       | 0,425***           | -0,353**            |
| <b>T<sup>a</sup> med</b>  | -0,237**      | 0,365**            | -0,414**            |
| <b>T<sup>a</sup> min</b>  | -0,155*       | 0,031              | -0,455***           |
| <b>Humedad rel.</b>       | -0,005        | -0,182**           | -0,010              |
| <b>Horas de Sol</b>       | -0,114*       | 0,189**            | -0,119*             |
| <b>V. med viento</b>      | 0,098*        | 0,060              | 0,138**             |
| <b>%Vto. 1°C.</b>         | -0,091*       | 0,027              | -0,091*             |
| <b>% Vto. 2°C.</b>        | -0,204***     | -0,329**           | -0,213**            |
| <b>% Vto. 3°C.</b>        | -0,017        | 0,086*             | -0,007              |
| <b>% Vto. 4°C.</b>        | 0,200***      | 0,128**            | 0,060*              |
| <b>Calma</b>              | -0,065*       | 0,029              | -0,090*             |

**Tabla 4.135.** Coeficientes de correlación de *Spearman* obtenidos entre las concentraciones medias diarias de polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga y los principales parámetros meteorológicos durante el PPP y los períodos pre-pico y post-pico (1995-2015). \* $\leq 0,05$ , \*\* $\leq 0,01$ , \*\*\* $\leq 0,001$ .

#### 4.3.13.9. Análisis de autocorrelaciones

Al considerar la autocorrelación de la serie de datos de *Urtica membranacea* se observa un total de 17 de retardos con valores significativos. Al realizar las autocorrelaciones parciales, se observa que los coeficientes descendieron considerablemente mostrándose solamente tres retardos significativos cuyo mayor coeficiente es el que se obtiene con la concentración media diaria del día previo (Fig.4.180). De hecho, este parámetro será considerado en los siguientes análisis de los modelos de pronósticos como un variable independiente.



**Figura 4.180.** Autocorrelaciones (izquierda) y autocorrelaciones parciales (derecha) de la serie de las concentraciones medias diarias del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga (1995-2015).



#### 4.3.13.10. Modelos de pronóstico

Se han seleccionado 7 modelos de pronóstico, realizados mediante regresión múltiple por pasos, utilizando las variables meteorológicas, para el periodo pre-pico (Tabla 4.136). En el primer paso, se incorporó la temperatura máxima como variable independiente, obteniéndose un modelo con un coeficiente de determinación de 0,152. En el segundo paso, se incorpora en el modelo el viento de segundo cuadrante, con lo cual apareció un ligero aumento de  $R^2$  (0,160). Tras los siguientes pasos sucesivos seguidos por el programa informático, se obtuvo un modelo (número 7a) que incluye como variables independientes la temperatura máxima, el viento del segundo cuadrante, la temperatura media, la velocidad media del viento, el viento del cuarto cuadrante, las horas de sol y la humedad relativa. Todas las variables presentan un signo positivo, excepto el viento del segundo cuadrante, la velocidad media del viento y la humedad relativa que muestran el efecto negativo que ejercen esos parámetros sobre las concentraciones de polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga. Este modelo mostró un coeficiente de determinación de 0,222 pero con un alto nivel de significación.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1a     | $Um=0,774 T^a \text{ max}-10,839$  | 0,152          | 0,000 |
| 2a     | $Um=0,695 T^a \text{ max } -0,029 \text{ Vto.}2^\circ\text{C } -8,634$   | 0,169          | 0,000 |
| 3a     | $Um=0,329 T^a \text{ max } -0,035 \text{ Vto.}2^\circ\text{C } +0,509 T^a \text{ med}-8,752$   | 0,182          | 0,000 |
| 4a     | $Um= 0,276 T^a \text{ max } -0,042 \text{ Vto.}2^\circ\text{C } +0,614 T^a \text{ med}-0,100 \text{ Vel.med.vt}-7,511$   | 0,196          | 0,000 |
| 5a     | $Um= 0,270 T^a \text{ max } -0,041 \text{ Vto.}2^\circ\text{C } +0,601 T^a \text{ med}-0,101 \text{ Vel.med.vt}+0,022$<br>$\text{Vto.}4^\circ\text{C } -8,450$                   | 0,207          | 0,000 |
| 6a     | $Um= 0,185 T^a \text{ max } -0,041 \text{ Vto.}2^\circ\text{C } +0,652 T^a \text{ med}-0,109 \text{ Vel.med.vt}+0,023$<br>$\text{Vto.}4^\circ\text{C } +0,161 \text{ H.S}-8,320$ | 0,216          | 0,000 |
| 7a     | $Um=0,130 T^a \text{ max } -0,038 \text{ v}2+0,717 T^a \text{ med}- 0,150 \text{ Vel.med.vt}+0,023 \text{ Vto.}4^\circ\text{C}$<br>$+0,166 \text{ H.S}-0,047 \text{ H.R}-8,050$  | 0,222          | 0,000 |

**Tabla 4.136.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para la concentración media diaria del polen de *Urtica membranacea* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos durante los años estudiados (1995-2015).

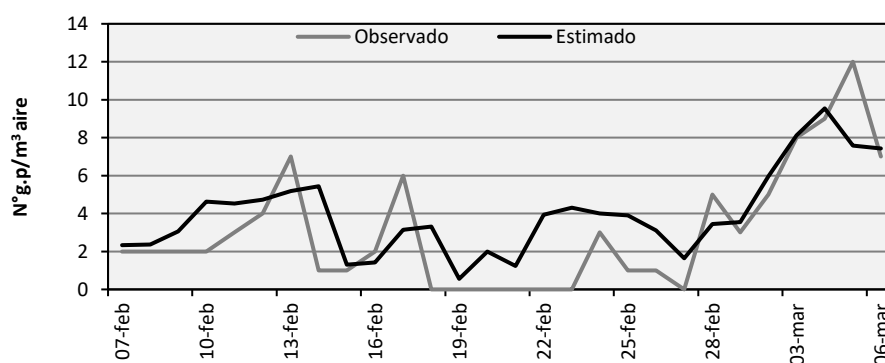
Al incluir en el proceso de regresión múltiple por pasos otras variables independientes como son la concentración polínica del día anterior y la D-media, se consiguieron otros modelos que muestran mejor porcentaje de la variabilidad observada (Tabla 4.137). El primer paso, se incorpora la concentración del día anterior ( $Um_{t-1}$ ) obteniéndose un modelo con un coeficiente de determinación de 0,306. En el segundo modelo, se incorporar la D-media como otra variable independiente, observándose que el valor del coeficiente de determinación aumenta hasta el valor de 0,362. A continuación, con los siguientes pasos, las variables incorporadas, incrementan el valor de dicho coeficiente, obteniéndose en el último paso, un modelo (5b), que incluye la concentración del día anterior, la D-media y la temperatura máxima, el viento de segundo cuadrante y la calma. Todas las variables presentan un signo positivo excepto el viento de segundo cuadrante que muestra un efecto negativo sobre las concentraciones de polen de *Urtica membranacea* en el aire.

| Modelo | Ecuación de regresión múltiple por pasos   | R <sup>2</sup> | p     |
|--------|--|----------------|-------|
| 1b     | $Um=0,574 Um_{(t-1)}+1,626$  | 0,306          | 0,000 |
| 2b     | $Um=0,463Um_{(t-1)}+0,463Dmed-0,151$   | 0,362          | 0,000 |
| 3b     | $Um=0,414 Um_{(t-1)}+0,622 Dmed+0,384 T^a \max-6,798$                                  | 0,395          | 0,000 |
| 4b     | $Um=0,388 Um_{(t-1)}+0,704 Dmed+0,304 T^a \max-0,028 Vto.2^{\circ}C -4,754$            | 0,410          | 0,000 |
| 5b     | $Um=0,386 Um_{(t-1)}+0,697 Dmed+0,311T^a \max-0,028 Vto.2^{\circ}C +0,073 Calma-5,136$ | 0,416          | 0,000 |

**Tabla 4.137.** Mejores modelos de regresión múltiple por pasos obtenidos para la concentración media diaria del polen de en el *Urtica membranaceae* durante el periodo de pre-pico en la atmósfera de Málaga, en función de los parámetros meteorológicos, la D-media y la concentración del día anterior durante los años estudiados (1995-2015).

#### Validación del mejor modelo

Con el objetivo de contrastar la validez del mejor modelo de pronóstico obtenido (modelo 5b), se ha comparado las concentraciones medias diarias del polen de *Urtica membranaceae* durante el pre-pico del año 2016 (observado) con los datos obtenidos (esperados) mediante la ecuación de regresión presentado el mayor coeficiente de determinación obtenido en el apartado anterior. La figura 4.181 representa el grado de asociación entre las concentraciones medias diarias del polen de este tipo obtenidas en 2016 y las estimadas usando la ecuación de regresión. Tras realizar la prueba de correlación mediante el test de *Spearman*, se muestra una correlación positiva y significativa entre los datos observados y estimados. Sin embargo, al realizar la prueba de *Wilcoxon*, se observa que existen diferencias significativas entre los promedios de los datos comparados (Tabla 4.138).



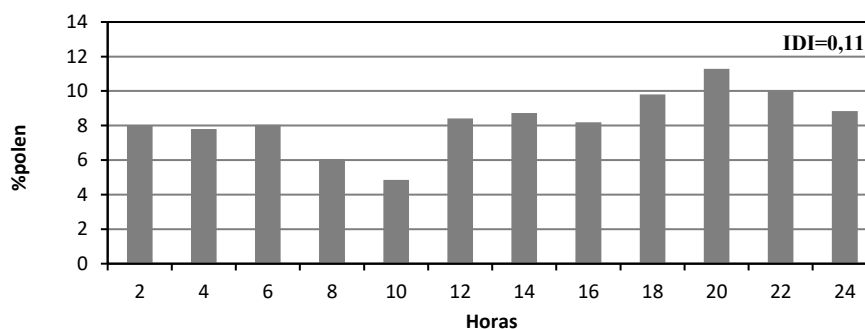
**Figura 4.181.** Concentraciones medias diarias del polen de *Urtica membranaceae* durante el periodo prepico 2016 (observado) y los datos estimados usando el modelo 5b de la ecuación de regresión.

|  | Spearman Test |       | Wilcoxon Test |         |        |       |
|--|---------------|-------|---------------|---------|--------|-------|
|  | r             | p     | Rango +       | Rango - | Z      | p     |
| <b>Modelo 5b</b><br>Observado-Estimado | 0,670         | 0,000 | 18            | 5       | -2,120 | 0,034 |

**Tabla 4.138.** Coeficientes de correlación de Spearman y comparación de los promedios mediante el test de Wilcoxon entre las concentraciones medias diarias de polen de *Urtica membranaceae* en la atmósfera de Málaga durante el periodo de pre-pico (2016) y los datos del mejor modelo obtenido mediante las ecuaciones de regresión.

#### 4.3.13.11. Variación intradiaria

Durante el periodo (1995-2015), se encontró un patrón promedio, con un IDI igual a 0,11 y un incremento de las concentraciones polínicas de *Urtica membranacea* a partir del mediodía, mostrando los valores máximos entre las 18:00 y 20:00 horas, con algo más del 11% de los registros de polen diario. Posteriormente, los niveles decrecen en las horas de la noche y la madrugada, para presentar el % mínimo entre las 8:00 y las 10:00 horas (Fig. 4.182).



**Figura 4.182.** Patrón promedio de la variación intradiaria del polen de *Urtica membranacea* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

Al analizar el comportamiento intradiario de los distintos años por separado (Fig. 4.183), se observa frecuentemente un patrón similar a la curva media del periodo completo, especialmente en lo que se refiere al momento en el que se produce las concentraciones mínimas. Sin embargo, aparece un comportamiento variable en relación con los picos máximos, con incrementos de las concentraciones a partir de las primeras horas de la mañana entre, 2:00-6:00 horas (años 2001 y 2003) o hasta las horas centrales del día 10:00-12:00 horas (años 1999, 2000, 2002), o bien por la noche entre 20:00- 22:00 horas por el resto de los años estudiados. Los valores de IDI fueron oscilando entre un mínimo de 0,05 (año 1995) y un máximo de 0,18 (año 2002).

#### 4.3.13.12. Discusión

*Urtica membranacea* es una planta ruderal frecuente, que crece en suelos muy nitrificados y húmedos como jardines, cultivos, campos, terrenos baldíos y bordes de caminos. Su polen presenta una morfología distinta a la del tipo *Parietaria*, por lo que se ha estudiado de forma independiente. En la Península Ibérica, el polen de *U. membranacea*, al igual que el de *Parietaria*, aparece más frecuente en la atmósfera de las zonas litorales que la de zonas interiores. Los índices polínicos anuales más altos publicados se detectaron en la ciudad de Vigo, donde se alcanzó un índice polínico anual de 2.045 (Rodríguez Rajo *et al.*, 2002b), mientras los valores más bajos se observaron en Ciudad Real (Sánchez *et al.*, 2000) con un IPA de 50, en Cáceres (Paulino *et al.*, 2000) se alcanzó el valor de 85, y en Badajoz (Silva *et al.*, 2000), de 407.

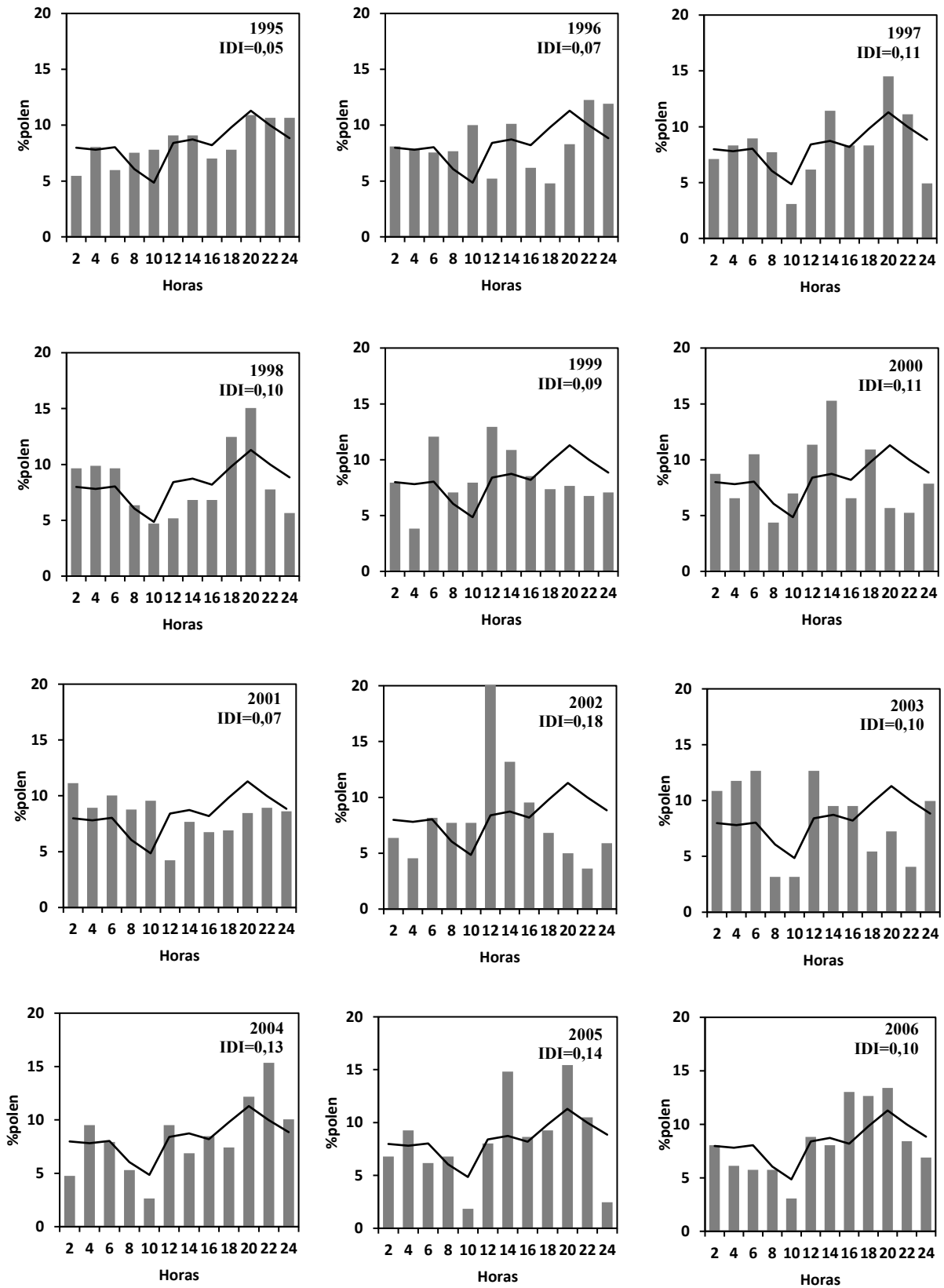


Figura 4.183. Variación intradiaria del polen de *Urtica membranacea* para cada año de los años estudiados (barras), así como valores promedios (1995-2015) (líneas).



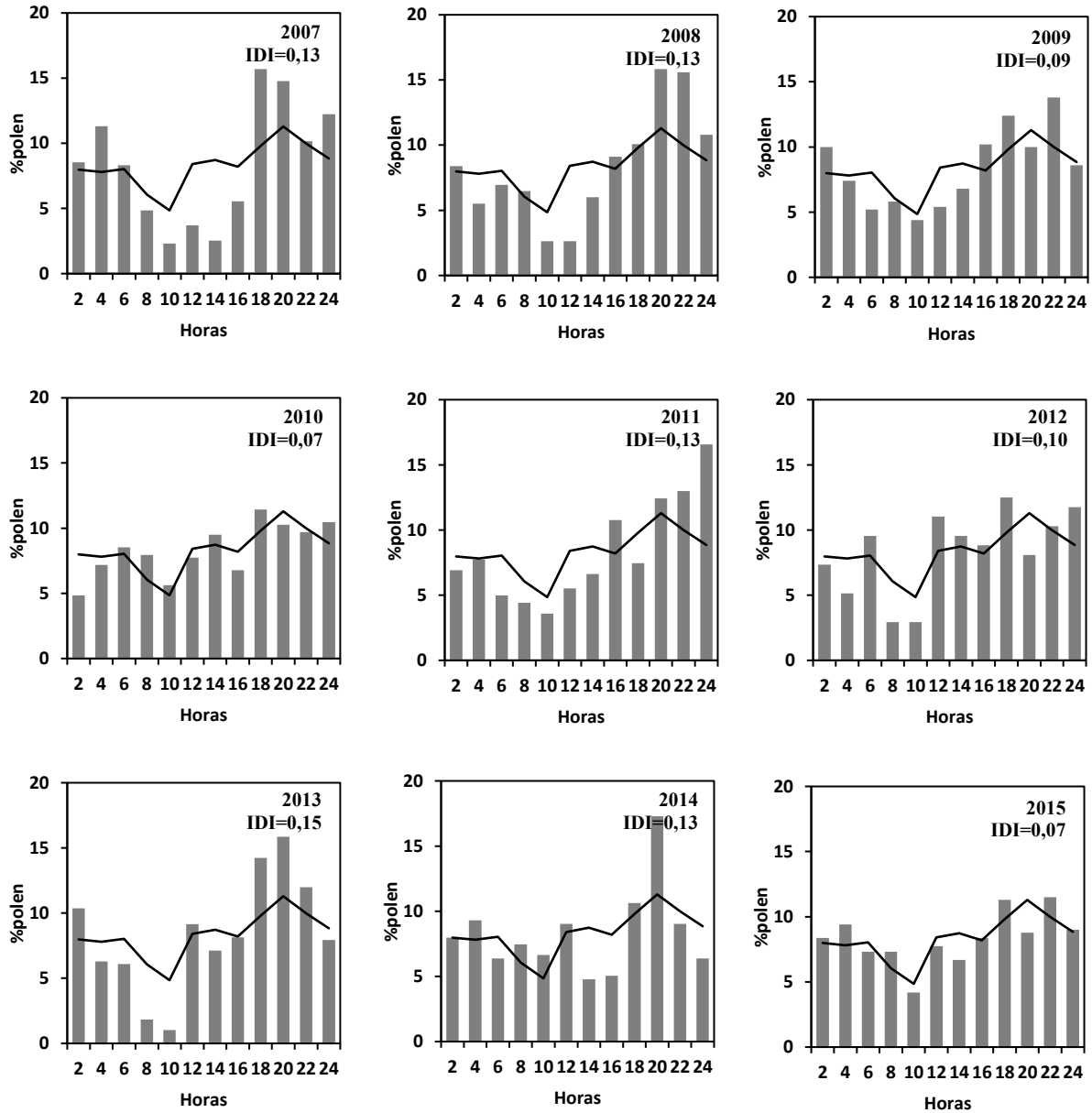


Figura 4.183. Continuación.

Durante el conjunto de los años analizados, el tipo *U. membranacea* representó el 1,14% del espectro polínico total anual, con un índice polínico anual medio de 440, inferior al del tipo *Parietaria* que representó 3,76% del polen total, registrándose un valor de 1.275 como índice polínico anual medio durante los años estudiados. Además, la duración del PPP media de 137 días es más corta que la del tipo *Parietaria* cuya estación polínica presentó una media de 227 días.

En estudios previos llevados a cabo en la provincia de Málaga, el comportamiento de este tipo polínico fue poco estable. De hecho, se detectaron niveles de *Parietaria* superiores a *Urtica membranacea* en Nerja (Docampo, 2008) y en Vélez Málaga (Trigo *et al.*, 2007) mientras que ocurrió lo contrario en el caso de Estepona (Toro *et al.*, 1997). Un patrón similar al de esta última localidad se ha descrito en la ciudad de Sevilla (Candau *et al.*, 2002b), además de en Tetuán (Aboulaich, 2012) con registros de *U. membranacea* que superan a los *Parietaria*. En otras estaciones españolas, estas divergencias en cuanto al comportamiento de estos 2 tipos polínicos, así como en relación con su capacidad alergénica ya han sido descritas por Muñoz *et al.* (2006) en Mérida, poniendo de manifiesto la conveniencia de un trato diferencial de los dos tipos polínicos.

La distribución intradiaria del polen de *Urtica membranacea* no fue tan estable. Si bien el patrón promedio mostró incrementos de las concentraciones en las horas de la tarde, entre las 18:00-20:00 horas, aparecieron diferencias de un año a otro, con picos observados unas veces en las primeras horas del día y, otras veces, por la tarde. En un trabajo anterior, se ha descrito un comportamiento para el polen de la familia de *Urticaceae*, incluyendo tanto *Parietaria* como *U. membranacea*, con un único pico marcado situado a las 14h (Trigo *et al.*, 1996a). Esto sugiere que, actualmente, las fuentes productoras de este tipo se encuentran ubicadas algo más alejadas del captador y el polen llega por la tarde ya que ha habido una disminución de las plantas de *Urtica membranacea* en los alrededores de la estación de muestreo en los últimos años debido al aumento de las zonas urbanizadas y los trabajos de mantenimiento de las áreas próximas al captador durante el periodo 2004-2015.

Los resultados del análisis de la evolución de los índices polínicos de este tipo en Málaga, muestran una ligera tendencia positiva. Este comportamiento fue similar al observado para el polen de *Parietaria*. Como ya se comentó anteriormente con el tipo polínico *Parietaria*, las condiciones meteorológicas, especialmente las precipitaciones prestaciones, juegan un papel importante en la determinación del patrón general de los índices polínicos de las herbáceas.

En cuando a las tendencias de los parámetros del PPP, se observó un adelanto en el comienzo de la estación polínica, así como un retraso en las fechas del final del PPP. Este comportamiento difiere del patrón observado para el polen de *Parietaria*, que mostró una tendencia al retraso en las fechas de inicio y un adelanto del final de la estación. A pesar de pertenecer a la misma familia, se observa que existen diferencias en cuanto al comportamiento de los tipos polínicos frente a las condiciones climáticas que determinan la evolución y las tendencias de los parámetros del periodo de polinación principal. Recio *et al.* (2009) pusieron de manifiesto que las lluvias prestaciones ejercen junto con el aumento de las temperaturas un efecto positivo, favoreciendo un adelanto del inicio del PPP de las urticáceas. Por otra parte, las precipitaciones que ocurren durante el periodo post-pico propician un retraso del final de PPP de esta especie y, por tanto, la prolongación de la estación polínica, al reactivar la actividad reproductiva de las plantas.

En cuando a la fecha en que se produce el día pico y la concentración alcanzada durante el mismo, no se aprecie una tendencia clara. Los picos máximos aparecen en diferentes fechas, según los años, sucediéndose a lo largo del PPP altos y bajo en los que a concentraciones se refiere. De hecho, la pendiente de la recta de regresión y el test de *Mann-Kendall*, muestran signos diferentes, lo que indica la importancia de la elección del método estadístico para determinar el comportamiento de las series de datos. En cualquier caso, la tendencia apreciada no ha sido estadísticamente significativa. Los resultados del análisis estadístico de correlación revelan que la temperatura fue la variable meteorológica que más influye en las concentraciones medias diarias del polen de *U. membranacea*. De hecho, durante el periodo pre-pico, el incremento de las temperaturas favorece los procesos de antesis y la dehiscencia de las anteras, lo que propicia el incremento de las concentraciones de polen.

Por lo contrario, durante el periodo post-pico, las temperaturas continúan incrementándose mientras que las concentraciones polínicas tienden a disminuir, lo que explica el signo negativo de las correlaciones obtenidas durante este periodo. Resultados similares han sido descritos en localidades del sur de la Península Ibérica, como es el caso de Nerja y Motril que mostraron el efecto positivo de las temperaturas, sobre todo de las máximas, sobre las concentraciones de polen de *Urticaceae* en general (Docampo, 2008; Nieto-Lugilde, 2008).

Sin embargo, en lo que a precipitaciones se refiere, se observa que, al dividir el PPP en pre-pico y post-pico, aparecen que correlaciones negativas y significativas con las precipitaciones durante el pre-pico, lo que indica el papel de lavado atmosférico que ejerce la lluvia sobre las concentraciones polínicas de *U. membranacea*. En cambio, el coeficiente de correlación cambia de signo durante el periodo post-pico, probablemente porque las lluvias durante este periodo reactivan la floración de las plantas.

La dirección de los vientos del segundo, tercer y cuarto cuadrante, mostraron su influencia sobre los niveles de este tipo polínico. Estos manifestaron un comportamiento similar al descrito anteriormente en el capítulo del tipo polínico *Parietaria*. Sin embargo, durante el periodo post-pico, a parte del comportamiento de los vientos dominantes (NO y SE) descritos en los capítulos anteriores, se destaca la correlación negativa obtenida con el viento de primer cuadrante (NE), ya que este viento es poco frecuente en la localidad de Málaga.

Al realizar el análisis de regresión múltiple por pasos para intentar aportar modelos de pronóstico para el polen de *U.membranacea*, utilizando los parámetros meteorológicos, como variables independientes, se muestra que las temperaturas máxima y media, la velocidad media del viento, el viento del cuarto cuadrante, las horas de sol y la humedad relativa, son las variables que mejor explican el comportamiento de los niveles de polen de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga, si bien el modelo fue significativo, presentó un coeficiente de determinación muy bajo 0,222. Sin embargo, los resultados obtenidos en los análisis de regresión múltiple por pasos en los que se incluyen, además de las 12 variables meteorológicas, la concentración del día anterior ( $U_{m,t-1}$ ) y la D-media, indican que gracias a estas variables predictoras, la fiabilidad del pronóstico se duplica obteniéndose un coeficiente de determinación de 0,416.

Al realizar el paso de validación del mejor modelo (5b), si bien se observó una correlación altamente significativa y positiva al comparar ambas series de datos (observados y esperados), los resultados de la prueba de *Wilcoxon* se muestran contradictorios, ya que se obtuvieron diferencias significativas entre los promedios de los datos observados del año 2016 y los estimados para este mismo



año. Esto revela que el mejor modelo obtenido para predecir las concentraciones medias diarias del polen de *Urtica membranacea* no es de total fiabilidad.

En lo que se refiere a la capacidad alérgica del polen de *Urtica membranacea*, éste ha sido descrito como no alérgico por Muñoz *et al.* (2006). En general, el polen de las especies pertenecientes al género *Urtica*, presentan una capacidad alérgica muy inferior a la mostrada por el polen de *Parietaria*, considerado éste como el polen más alérgico en algunas zonas del Mediterráneo como el sur de Italia, Francia y parte de la costa española (D'Amato & Spieksma, 1990; Belmonte & Roure, 1991). Hasta el momento, se ha puesto manifiesto que existe una reactividad cruzada entre *Urtica* y *Parietaria* (Bousquet *et al.*, 1986). Por lo contrario, las reacciones cruzadas con gramíneas no son habituales y los síntomas comunes que se describen podrían deberse a un solapamiento de sensibilizaciones y épocas de polinación (Cisteró *et al.*, 1983).

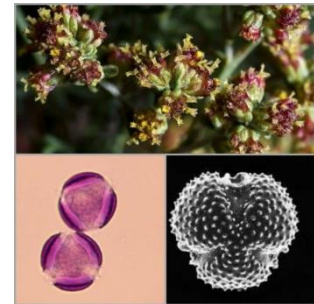


### 4.4. TIPOS POLÍNICOS SECUNDARIOS

Se incluyen en este apartado todos aquellos tipos polínicos que, para el conjunto de los años estudiados, presentaron un porcentaje entre 0,5-1% del total de los registros de polen obtenidos para la atmósfera de Málaga.

#### 4.4.1. Tipo polínico *Artemisia*

El género *Artemisia* de la familia Compositae, se encuentra distribuido por toda Europa. En la provincia de Málaga está representado fundamentalmente por dos especies: *Artemisia barrelieri* Besser y *A. campestris* L. Algunas especies de *Artemisia* son muy utilizadas en medicina popular, como estimulante estomacal y por ser muy eficaces para eliminar las lombrices intestinales.



##### 4.4.1.1. Descripción botánica

Se trata de matas o pequeños arbustos, generalmente aromáticos. Hojas de subterceras a divididas y flores dispuestas en inflorescencias que forman pequeños capítulos con 3-7 flores. El fruto es un aquenio de pequeño tamaño sin vilano aparente.

##### 4.4.1.2. Época de floración/polinización

La floración depende de la especie, *Artemisia barrelieri* florece de noviembre a enero y *A. campestris* de agosto a noviembre. Polinización anemófila.

##### 4.4.1.3. Morfología polínica

El polen es trizonocolporado, isopolar, con simetría radial. De circular-lobulado a subtriangular en visión polar y circular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. De suboblado a prolado-esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano. Ectoaberturas estrechas, de tipo colpo y endoaberturas de tipo poro. Exina muy gruesa. Tectum completo e infratectum columelado. Superficie equinulado-granulada, con elementos ornamentales menores de 1  $\mu\text{m}$ .

##### 4.4.1.4. Variación interanual

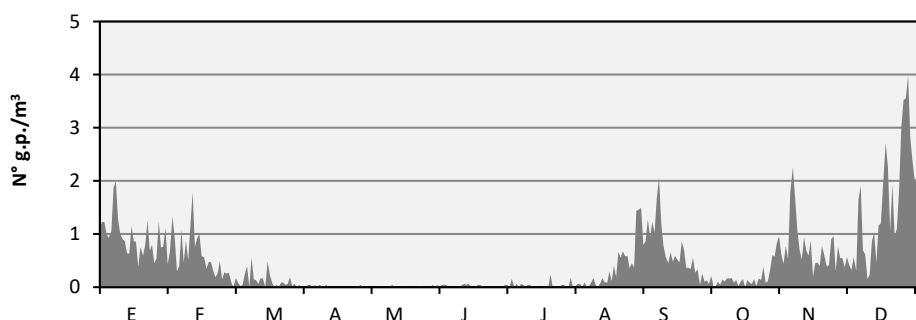
El polen de *Artemisia* representó 0,5% del índice total anual del periodo estudiado (Tabla 4.139), ocupando la posición diecisiete en orden de abundancia. Por otra parte, se observó que la contribución de este polen al espectro polínico fue variable de un año a otro, la mayoría de las veces con porcentajes sobre el polen total anual que no superaron el valor promedio, con excepción de los años 1992 (2,38%), 1996 (0,84%), 2011 (0,72%), 2005 (0,67%), 2010 (0,66%), 2002 (0,62%). De hecho, si nos fijamos en el comportamiento de este tipo polínico, se observa que fue poco estable ya que se obtuvieron IPAs oscilando entre 39 (año 2014) y 526 (año 1992). Lo mismo sucede en cuando a los picos máximos alcanzados se refiere, ya que varían entre un mínimo de 4 g.p./m<sup>3</sup> (año 2014) y un máximo de 50 g.p./m<sup>3</sup> (año 1992).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 526 | 2,38    | 50   |
| 1993  | 190 | 0,62    | 17   |
| 1994  | 104 | 0,38    | 8  |
| 1995  | 98  | 0,48    | 16   |
| 1996  | 358 | 0,84    | 32   |
| 1997  | 183 | 0,28    | 16   |
| 1998  | 202 | 0,59    | 9  |
| 1999  | 62  | 0,14    | 5  |
| 2000  | 102 | 0,31    | 5  |
| 2001  | 95  | 0,22    | 11   |
| 2002  | 194 | 0,62    | 14   |
| 2003  | 93  | 0,23    | 18   |
| 2004  | 131 | 0,52    | 18   |
| 2005  | 286 | 0,67    | 24   |
| 2006  | 123 | 0,45    | 12   |
| 2007  | 150 | 0,32    | 22   |
| 2008  | 130 | 0,41    | 8  |
| 2009  | 107 | 0,26    | 11   |
| 2010  | 268 | 0,66    | 22   |
| 2011  | 201 | 0,72    | 12   |
| 2012  | 137 | 0,47    | 9  |
| 2013  | 76  | 0,18    | 8  |
| 2014  | 39  | 0,10    | 4  |
| 2015  | 113 | 0,37    | 8  |
| Media | 165 | 0,50    | 15   |

**Tabla 4.139.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Artemisia* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

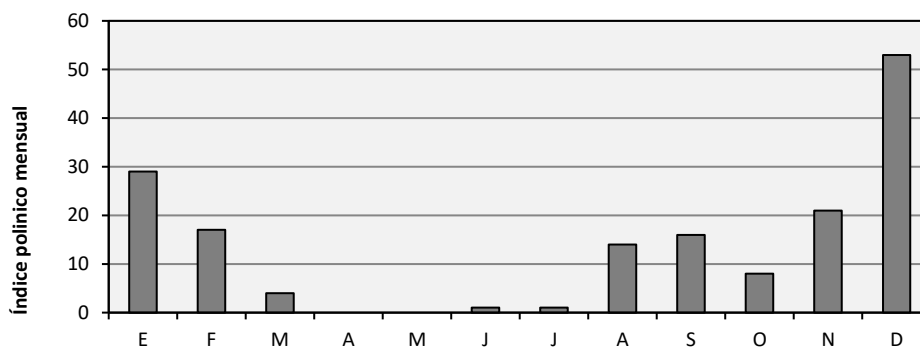
#### 4.4.1.5. Variación estacional

El patrón medio de la dinámica de las concentraciones medias diarias del polen de *Artemisia* durante el conjunto de los años estudiados, muestra que éste se detecta prácticamente durante todo el año, en la atmósfera de Málaga, aunque con ciertas fluctuaciones. Así, las mayores concentraciones de este polen se registran entre los meses de agosto a febrero, mientras que son muy bajas o casi nulas durante los meses de abril hasta julio (Fig. 4.184). Los picos máximos diarios se alcanzan en el mes de diciembre, registrando un valor máximo promedio de concentración media diaria de 4 g.p./m<sup>3</sup>.



**Figura 4.184.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Artemisia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Al analizar el comportamiento mensual del tipo polínico *Artemisia* durante el periodo completo estudiado, se observa que los mayores valores mensuales se alcanzaron en el mes de diciembre con un índice polínico promedio de 53. Sin embargo, se observa que los meses de noviembre y enero muestran índices polínicos relativamente elevados, aunque con menor intensidad, con valores promedios de 21 y 29, respectivamente. Por otra parte, se puede observar que en tanto el mes de febrero y como en septiembre, los niveles alcanzados son similares con valores promedios iguales a 16 (Fig. 4.185).

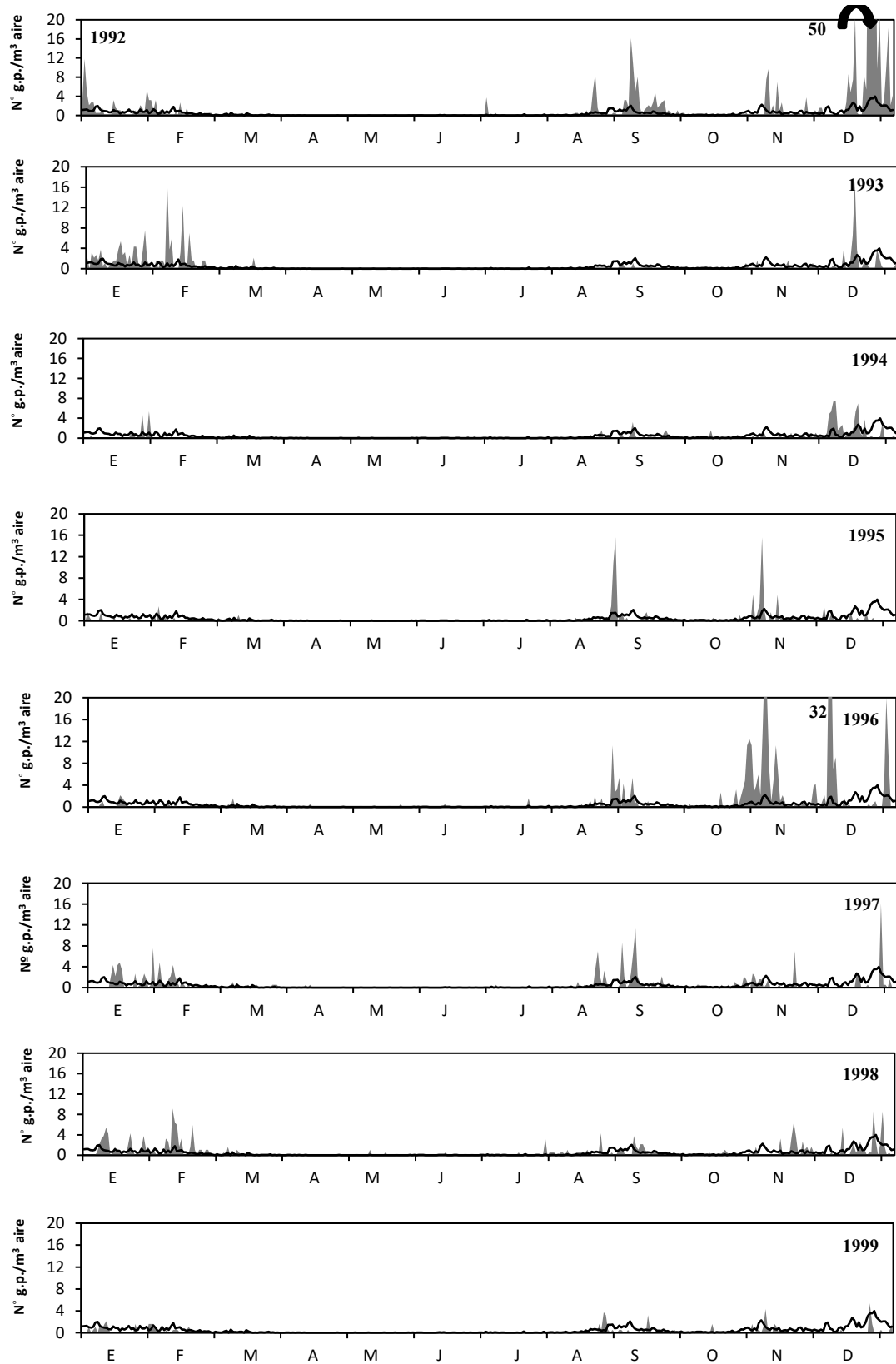


**Figura 4.185.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Artemisia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

La distribución de las concentraciones medias diarias de polen de *Artemisia* se caracterizó por una marcada estacionalidad durante el periodo 1992-2015. De hecho, la estación polínica comienza a finales de agosto y termina hacia finales de febrero del año siguiente, apareciendo una serie de picos sucesivos de diferente intensidad y con una gran irregularidad de un año a otro. Se observa una importante fluctuación de las concentraciones medias diarias en los distintos años si bien hay que señalar que los años 1999, 2000, 2013, 2014 y 2015 los niveles registrados estuvieron por debajo de los promedios.

Los picos máximos de concentración media diaria ocurrieron casi siempre en el mes de diciembre durante la mayoría de los años, con un valor máximo histórico de 50 granos de polen/m<sup>3</sup>. Sin embargo, se observa que, a veces, se alcanzaron estos picos máximos en el mes de noviembre, durante en los cuales se registraron valores medios diarios de 11 g.p./m<sup>3</sup> (año 2009) y 8 g.p./m<sup>3</sup> (año 2013 y 2015). Cabe destacar que, durante los años 1993, 1998 y 2003, se observa que las concentraciones medias diarias máximas se detectaron durante el mes de febrero, alcanzando un pico máximo histórico de 18 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2003) (Fig. 4.186).





**Figure 4.186.** Concentraciones medias diarias de polen de *Artemisia* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

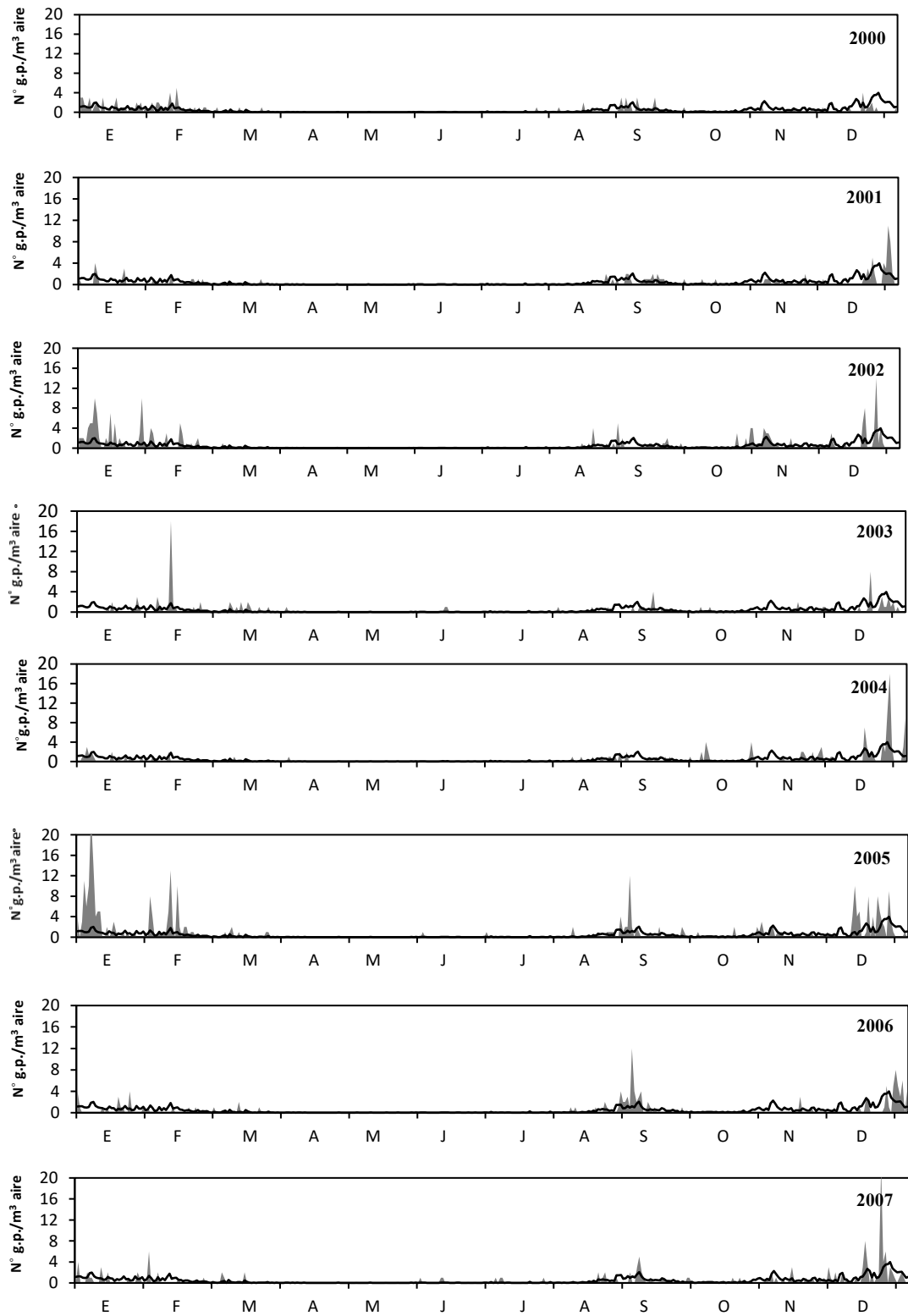


Figure 4.186. Continuación.

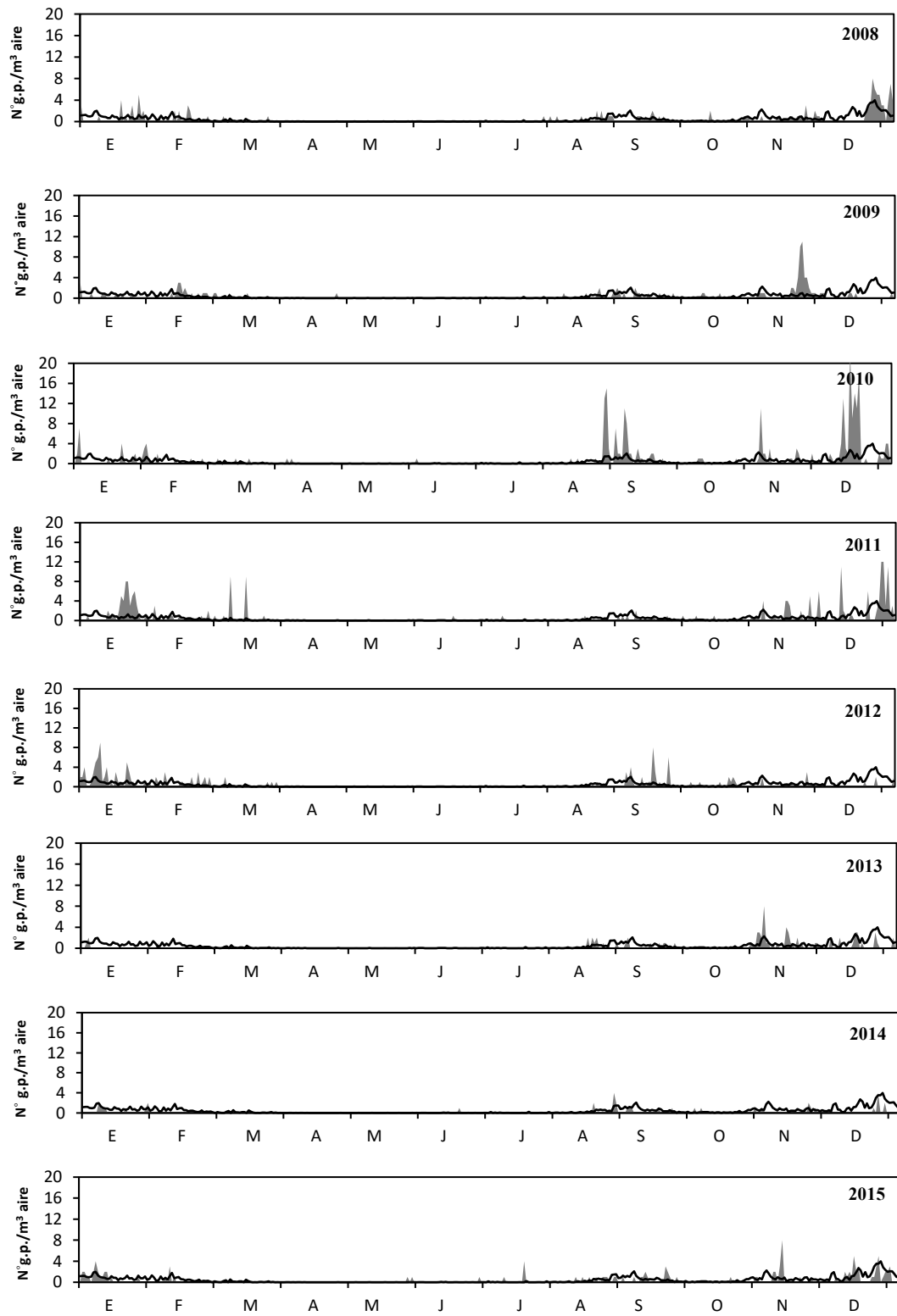
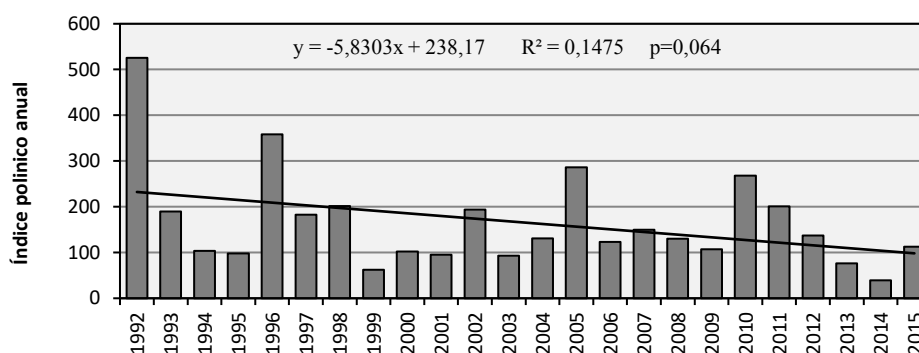


Figure 4.186. Continuación.

#### 4.4.1.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

En la figura (4.187) se observa que la producción polínica de *Artemisa* presenta un patrón irregular con registros que varían de un año a otro. Los resultados del análisis de la dinámica de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado, tanto en el estudio de regresión como con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,181$ ;  $p=0,228$ ), muestran que los índices polínicos anuales presentan una tendencia negativa pero estadísticamente no significativa, lo que indicaría una tendencia a una cierta disminución de los registros de este tipo en el periodo analizado (Tabla 4.140). Por otra parte, si tenemos en cuenta el parámetro pendiente de *Sen*, se observa que la evolución de los registros polínicos de *Artemisa* ha sido de signo negativo, con un valor de dicho parámetro igual a  $-3,17$ .



**Figura 4.187.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Artemisa* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,181            | 0,228 | -3,17            |

**Tabla 4.140.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Artemisa* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.4.1.7. Discusión

*Artemisia* es un género de plantas herbáceas o arbustivas, ampliamente distribuido por toda Europa, ya que comprende más de 500 especies y subespecies (Wright, 2001), creciendo en las zonas montañosas y también en áreas de escasa precipitación, dominando las comunidades de desérticas de Asia, Sudáfrica (Mucciarelli & Maffei, 2002). *Artemisia* se conoce como un taxón con gran importancia desde el punto de vista aeobiológico en toda esta zona de Europa occidental como en el caso de los Países bajos, Bélgica, Alemania y el Reino Unido (Spieksma *et al.*, 2003). Además, se han demostrado que este tipo polínico se detecta frecuentemente en otras localidades de Europa, como Finlandia (Koivikko *et al.*, 1986), Lithuania (Kazlauskas *et al.*, 2006; Sauliene & Gutauskaite, 2007), Polonia (Stach, 2000; Kasprzyk *et al.*, 2001; Puc, 2006; Stach *et al.*, 2007), Suiza (Gehrig, 2006), Italia

(Spieksma *et al.*, 1989), España (Munuera Giner *et al.*, 1999), Grecia (Gioulekas *et al.*, 2004) y Israel (Waisel *et al.*, 2004).

Durante el periodo estudiado, el índice polínico anual medio registrado en Málaga fue 165. En otras localidades cercanas a Málaga capital, se registró un índice anual medio de 124 en Estepona (Recio *et al.*, 2006), de 92 en Antequera (Recio *et al.*, 2000) y con 357 en Nerja (Docampo, 2008). Los índices polínicos más altos de la Península Ibérica fueron superiores a 1.000, y que se registraron en Murcia (Munuera *et al.*, 1999), Motril (Nieto-Lugilde, 2008), Almería (Sabariego, 2003; Cariñanos *et al.*, 2004). En otras localidades de España, la incidencia de este polen es relativamente alta con índices polínicos de 222 en Zaragoza (Bermejo & García, 2002), 214 en León (Vega Mary *et al.*, 2002b), 211 en Lleida (Belmonte & Roure, 2002) y 219 en Madrid (Diez Herrero *et al.*, 2002; Martín Madrigal *et al.*, 2002), mientras que en el resto de las estaciones de REA los registros son aún menores. En otras ciudades europeas, se reportaron índices anuales de 364 en Trieste (Rizzi-Longo *et al.*, 2007), 796 en Bratislavia (Ščevková *et al.*, 2010), 659 en Zagreb (Peternel *et al.*, 2003), 1000 en Delmenhorst y Leiden (Spieksma *et al.*, 2003), Wroclaw (Drzenecka-Osiafacz *et al.*, 2015), por citar algunos ejemplos.

*Artemisia* florece en Europa Central a partir de finales de julio, donde las máximas concentraciones se producen en agosto. Mientras que, en el Mediterráneo, la floración se inicia a partir de finales de septiembre a principios de octubre (D'Amato & Spieksma, 1990). Esta floración tardía en las regiones mediterráneas probablemente se debe a la presencia de especies diferentes y el inicio de la estación polínica ha sido atribuido al pico de las temperaturas máximas obtenidas durante que favorece la liberación del polen en el aire (Spieksma *et al.*, 1989).

En nuestra área de estudio, el inicio de floración del tipo polínico *Artemisia* comienza a principios de agosto, con una estación polínica que llega hasta finales de febrero, si bien con tres picos en distintas épocas del año con diferentes intensidades (Fig. 4.184). Este comportamiento se atribuye principalmente al solapamiento de floración de las diferentes especies de este Género, fundamentalmente a *Artemisia campestris*, a finales de verano, y *Artemisia barrelieri* en diciembre. Un patrón similar ha sido observado en otras localidades españolas (Cariñanos *et al.*, 2004, 2010).

La irregularidad observada tanto en las concentraciones medias diarias como en los índices polínicos anuales de este polen en la atmósfera de Málaga (Tabla 4.139), podrían deberse a las fluctuaciones interanuales de las precipitaciones registradas en nuestra provincia. Un comportamiento similar ha sido observado para las ciudades de Szczecin, Polonia y Murcia en las que las oscilaciones de los registros de *Artemisia* fueron influenciadas por las variaciones de un año a otro de las cantidades de lluvias registradas (Sánchez *et al.*, 2005; Puc, 2006; Stach *et al.*, 2007a). Asimismo, Carinaños *et al.* (2013) explicó que un periodo prolongado de sequía, básicamente 8 semanas antes de la floración, ha sido la razón de tener valores extremadamente bajos de índices polínicos de *Artemisia*, si bien que se ha clasificado como una planta herbácea tolerante al estrés hídrico (Alba-Sánchez *et al.*, 2010). Sin embargo, en lo que se refiere a la disminución de los índices polínicos de este tipo a lo largo del periodo estudiados, patrón similar a lo que se observó en otras localidades de la Península Ibérica como Córdoba, Granada, Barcelona mientras la tendencia fue positiva en Cartagena, Madrid y León tras analizar un periodo de 20 años de estudio (Galán *et al.*, 2016). Dichos autores sugieren que la explicación a este fenómeno podría estar precisamente en un cambio de la ocupación del suelo en los entornos de las zonas de muestreos, pero también puede reflejar algunos procesos endógenos diferentes de adaptación al cambio climático entre las especies pertenecientes a los distintos tipos polínicos. En este mismo sentido,

Ziello *et al.* (2012) examinaron la dinámica del tipo polínico *Artemisia* a largo plazo en 13 países de Europa, de hecho, encontraron una tendencia decreciente significativa en el índice polínico anual de este tipo en la mayoría de los puntos de muestreo. Estos autores sugieren que este comportamiento puede ser explicando por la intensificación del control de mala hierbas y la disminución de las superficies de tierras agrícolas.

En el caso de la estación de Málaga, al ser estas especies más abundantes en la zona este de la provincia, más hacia el sudeste árido de la Península Ibérica, creemos que los incrementos en los niveles de polen de *Artemisia* estarían relacionados con los vientos favorales de dirección este, que arrastrarían los granos de polen de este tipo polínico.

*Artemisia* está considerado como un importante aeroalergeno de finales de verano y principios de otoño en Europa occidental (Jimeno *et al.*, 2004). La frecuencia de sensibilización de este tipo ha sido estimada entre 3% y el 15% (D'Amato *et al.*, 1998; Stach *et al.*, 2007) entre los pacientes que sufren de polinosis en Europa, aunque los síntomas de la polinosis resultan generalmente del grado de exposición a esta planta (Spiekma & Von Wahl, 1991, Spiekma *et al.*, 2003). En España, los porcentajes de sensibilización no son muy elevados, excepto en Coruña con un 9% (Ferreiro *et al.*, 1998), Málaga con un 10% (Torrecillas *et al.*, 1998), Santander con un 12% (De Benito & Soto 2001), Granada 20% (De linares, 2007), Almería con un 30% (Sabariego, 2003). Varios estudios realizados sobre la caracterización y el aislamiento de proteínas de *Artemisia* han puesto de manifiesto la presencia de una gran cantidad de antígenos en este tipo polínico (Paulsen *et al.*, 1985; Dedic *et al.*, 2002). Además, se ha descrito la presencia de reactividad cruzada entre las distintas especies pertenecientes al género (Katial *et al.*, 1997), entre géneros pertenecientes a la familia (Fernández *et al.*, 1993). Por otra parte, en un trabajo llevado a cabo por Díaz-Perales *et al.* (2000), se ha descrito que en pacientes alérgicos a melocotón y manzana, existe una reacción cruzada entre las proteínas transportadoras de lípidos del polen de *Artemisia* (LTPs) y de estas dos frutas a través la comparación de las secuencias de aminoácidos y la capacidades de unión a IgE con las de LTPs de manzana y melocotón (Díaz-Perales *et al.*, 2000).



### 4.4.2. Tipo polínico Compositae

Se incluyen en este tipo polínico todas las especies de la familia Compositae, con excepción del género *Artemisia*, por ser objeto de un tratamiento independiente. Comprende unos 1.100 géneros y aproximadamente unas 25.000 especies repartida por todo el mundo. Sus usos son diversos: alimentación, jardinería, medicina. En Málaga, las especies más frecuentes son: *Anacyclus radiatus* Loisel., *Andryala integrifolia* L., *Anthemis arvensis* L., *Asteriscus maritimus* (L.) Less., *Calendula arvensis* L., *Carduus* sp. pl., *Centaurea pullata* L., *Chrysanthemum coronarium* L., *Cichorium intybus* L., *Conyza bonariensis* (L.) Cronq., *Galactites tomentosa* Moench., entre otras muchas más.



#### 4.4.2.1. Descripción botánica

Se trata de plantas generalmente herbáceas, anuales o perennes. Hojas alternas, simples, rara vez opuestas, o todas en la base. Flores en capítulos con una a numerosas flores de una a numerosas filas de brácteas, con receptáculo plano o convexo, rara vez cilíndrico, frecuentemente provisto de brácteas, escamas o pelos interseminales. Cáliz ausente o transformado en un vilano. Corola con 5 pétalos o a veces 4, soldados. Androceo con 5 estambres. Ovario infero, bicarpelar, unilocular. Fruto de tipo aquenio, con o sin vilano, con una cicatriz basal o subbasal (hilo cárpico).

#### 4.4.2.2. Época floración/polanización

Debido a la gran cantidad de especies que incluye esta familia, la época de floración es muy amplia, por lo que podemos encontrar especies en flor durante todo el año. La polanización es fundamentalmente entomófila.

#### 4.4.2.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. De circular a subtriangular, e incluso hexagonal en algunos tipos, en vista polar y de circular a elíptico en vista ecuatorial. De suboblado a prolado. Tamaño de pequeño a grande. Aberturas compuestas, con ectoaberturas de tipo colpo y meso-, y endoaberturas de tipo poro, a veces las dos últimas difíciles de observar debido al grosor de la exina y/o la presencia de crestas. Tectum a menudo perforado e infratectum con columelas bien apreciables, a veces ramificadas. Superficie equinada o equinolofada, a veces equinulada o escábrida.

#### 4.4.2.4. Variación interanual

El tipo polínico Compositae presentó un índice polínico anual medio de 165 durante los años analizados. Su aportación fue del 0,52% al espectro polínico de la atmósfera de Málaga, si bien que se observa un patrón variable de un año a otro. De hecho, el año con el menor IPA fue 2015 (61), mientras que el máximo corresponde al año 1996 con un valor de 353. En la evolución de las concentraciones máximas diarias registradas, observamos que los valores alcanzados fueron bajos, ya que varían entre un mínimo de 3 g.p./m<sup>3</sup> (año 2015) y un máximo de 23 g.p./m<sup>3</sup> (año 1996) (Tabla 4.141).

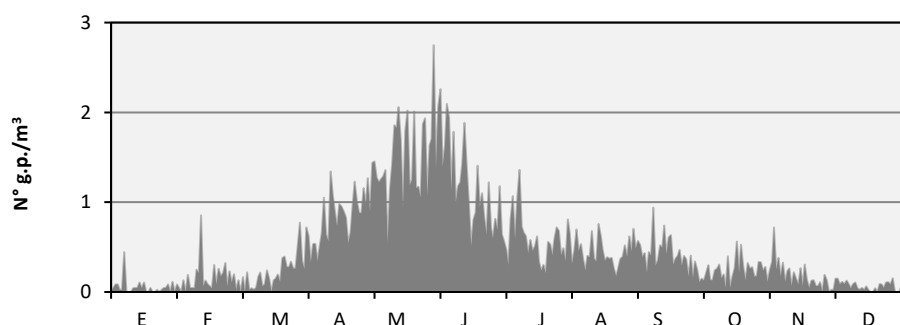


| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 236 | 1,07    | 7  |
| 1993  | 239 | 0,79    | 12   |
| 1994  | 263 | 0,97    | 15   |
| 1995  | 91  | 0,45    | 4  |
| 1996  | 353 | 0,83    | 23   |
| 1997  | 168 | 0,26    | 6  |
| 1998  | 250 | 0,73    | 9  |
| 1999  | 90  | 0,20    | 6  |
| 2000  | 133 | 0,41    | 8  |
| 2001  | 160 | 0,37    | 8  |
| 2002  | 213 | 0,68    | 10   |
| 2003  | 170 | 0,43    | 18   |
| 2004  | 124 | 0,49    | 10   |
| 2005  | 78  | 0,18    | 5  |
| 2006  | 154 | 0,57    | 18   |
| 2007  | 210 | 0,45    | 17   |
| 2008  | 161 | 0,50    | 8  |
| 2009  | 189 | 0,46    | 8  |
| 2010  | 253 | 0,62    | 12   |
| 2011  | 122 | 0,44    | 8  |
| 2012  | 108 | 0,37    | 10   |
| 2013  | 269 | 0,65    | 15   |
| 2014  | 126 | 0,31    | 6  |
| 2015  | 61  | 0,20    | 3  |
| Media | 165 | 0,52    | 8  |

**Tabla 4.141.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico Compositae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

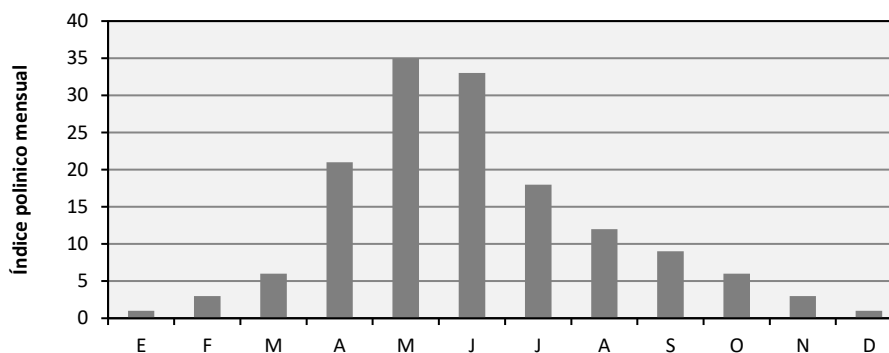
#### 4.4.2.5. Variación estacional

La dinámica de los valores promedios de las concentraciones medias diarias, muestra que de este tipo polínico aparece en la atmósfera de Málaga prácticamente durante todo el año, con gran irregularidad. Las mayores concentraciones medias diarias de este polen se detectan entre los meses primaverales, mientras que las mínimas se detectan en el invierno (Fig. 4.188). Los picos máximos se alcanzan en el mes de junio, si bien que los registros del máximo de la concentración media diaria de este tipo no supera los 3 granos de polen/m<sup>3</sup>.



**Figura 4.188.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de Compositae en el atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En la figura (4.189) se muestra el patrón del comportamiento de los índices polínicos mensuales del polen de Compositae. Aquí también se observa que este polen se detecta en todo el año. La evolución de los registros fue muy marcada, ya que se apareció cómo las concentraciones sufrieron un incremento importante a partir del mes de abril, tras lo cual se alcanzó el mayor valor del índice polínico mensual en mayo, con un valor promedio de 35, mientras que en junio los niveles registrados fueron algo menores con un valor promedio total de 33. A partir de junio los valores mensuales disminuyen progresivamente hasta el mes de diciembre.



**Figure 4.189.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico Compositae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

El comportamiento de las concentraciones medias diarias presenta un patrón similar entre los distintos años, ya que este polen se detectó durante todo el periodo anual, apareciendo una serie de picos sucesivos de diferente intensidad. En general los niveles de polen son bajos, con la excepción de la primavera (mes de mayo-junio) cuando suelen registrarse las concentraciones máximas diarias de este tipo polínico (Fig. 4.190) destacando por su escasa intensidad los años 1995, 2005 y 2015 en los valores medios diarios registrados se mantuvieron por debajo de la media. En lo que se refiere a los valores históricos de las concentraciones medias diarias, el valor máximo detectado en el mes de mayo fue 18 granos/m<sup>3</sup> (año 2006) mientras que fue de 23 granos de polen/m<sup>3</sup> el obtenido en el mes de junio (año 1996), si bien el pico máximo se obtuvo de manera excepcional durante el mes de febrero en el año 2003, con un valor de 18 granos de polen/m<sup>3</sup>.

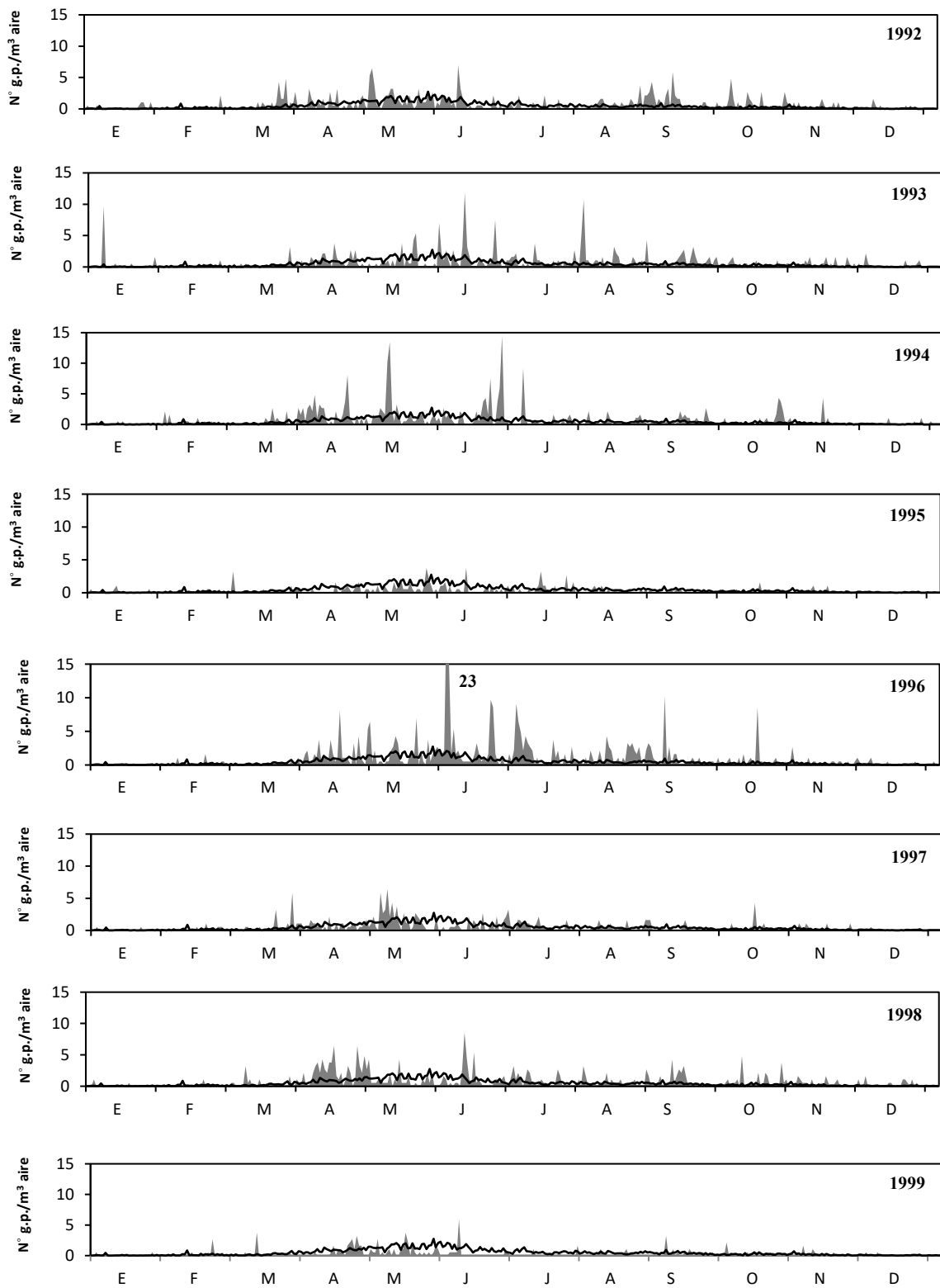


Figure 4.190. Concentraciones medias diarias de polen de Compositae en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

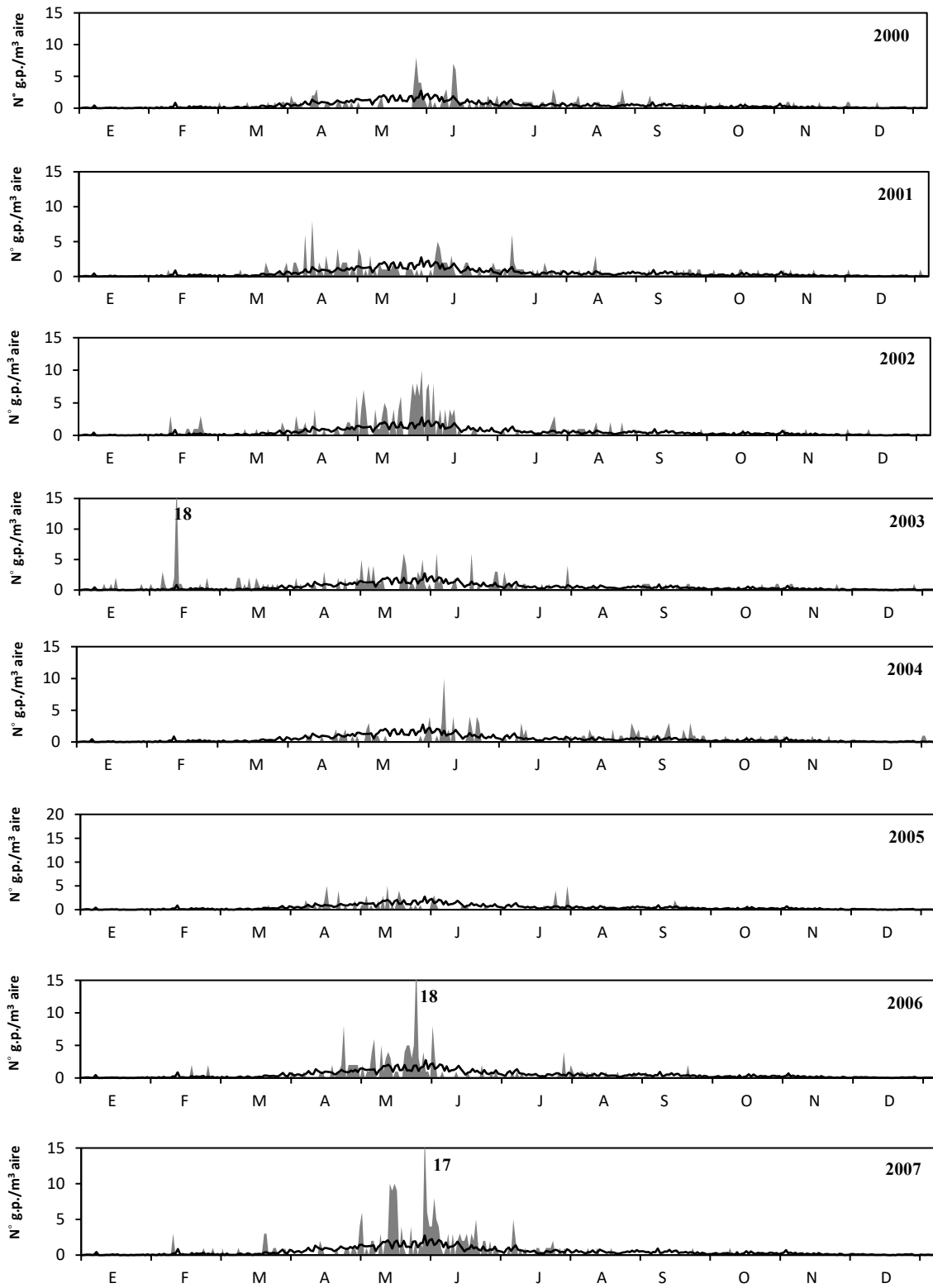


Figure 4.190. Continuación.

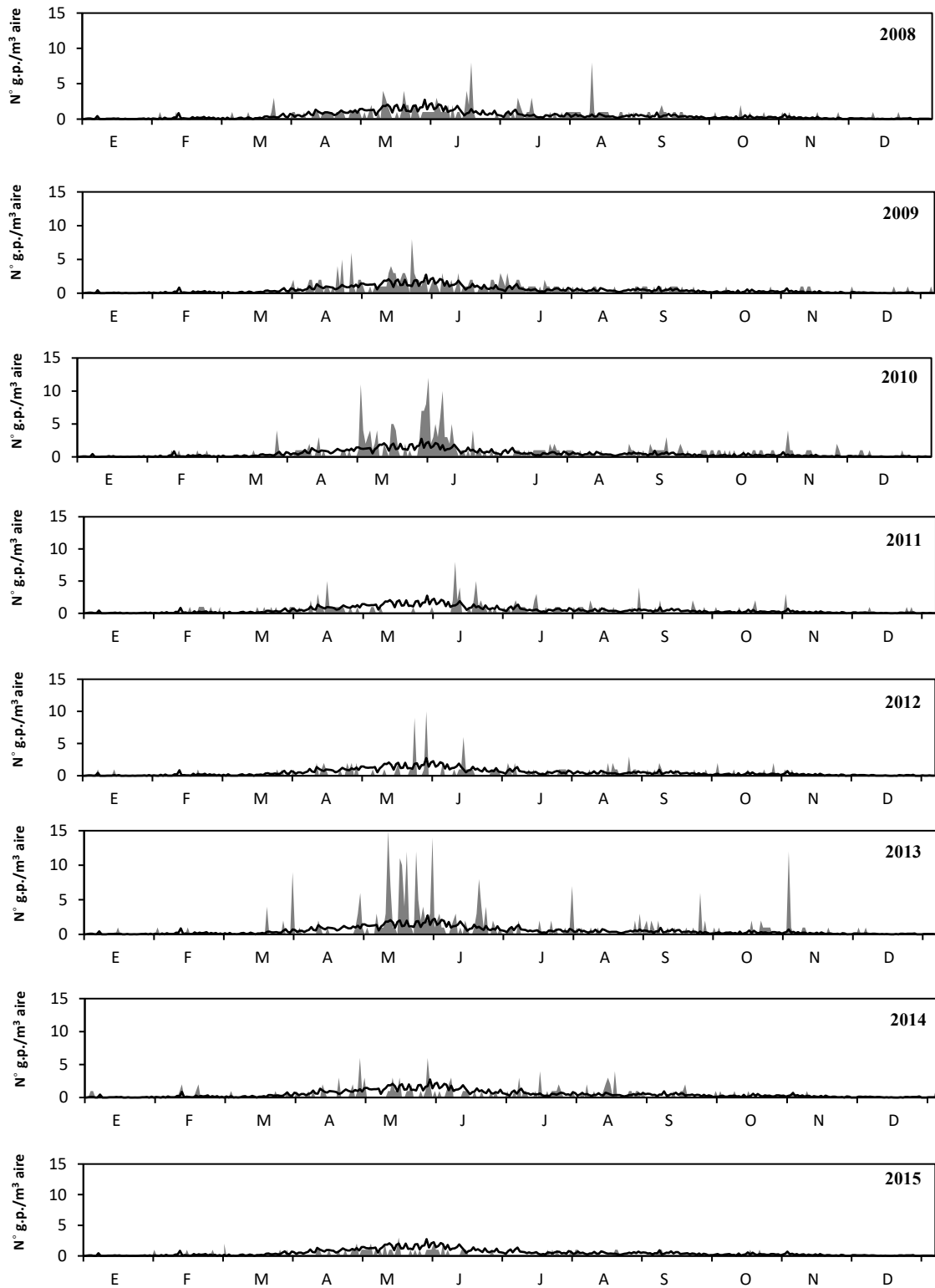
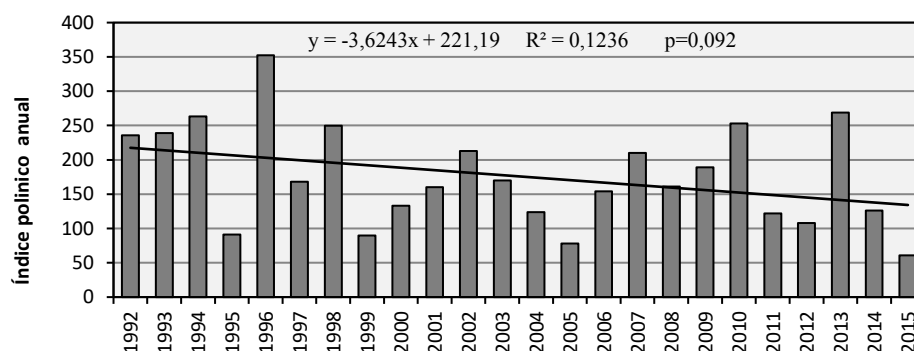


Figure 4.190. Continuación.

#### 4.4.2.6. Estudio de tendencia

- Índice polínico anual

En los 24 años de estudio, el índice polínico anual del polen de Compositae en la atmósfera de Málaga, muestra un patrón irregular, con registros que varían de un año a otro, presentando una tendencia considerable al descenso en sus índices polínicos anuales (Fig. 4.191). La prueba de *Mann-Kendall* indica que la tendencia observada es negativa pero estadísticamente no significativa ( $Z=-0,194$ ;  $p=0,208$ ) (Tabla 4.142), al igual que el estudio de regresión. Por otra parte, si tenemos en cuenta el parámetro pendiente de *Sen*, se observa que la evolución de los registros polínicos de Compositae ha sido de signo negativo, con un valor de dicho parámetro igual a -3,30.



**Figura 4.191.** Evolución interanual del índice polínico anual de Compositae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

|              |               |              |          | <i>Mann-Kendall Test</i> |             | <i>Pendiente de Sen</i> |
|--------------|---------------|--------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------|
| <i>Serie</i> | <i>Inicio</i> | <i>Final</i> | <i>n</i> | <i>Z</i>                 | <i>Sig.</i> | <i>Q</i>                |
| IPA          | 1992          | 2015         | 24       | -0,194                   | 0,208       | -3,30                   |

**Tabla 4.142.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de Compositae en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015)

#### 4.4.2.7. Discusión

Si bien que las compuestas son una familia de plantas cosmopolita y bien representa en en España, los niveles de polen alcanzando en la atmósfera de Málaga son relativamente bajos debido fundamentalmente a su carácter entomófilo.

La evaluación del comportamiento aerobiológico de est tipo en la atmósfera de Málaga, muestra grandes oscilaciones de un año a otro, registrando un valor del índice polínico medio de 165 durante el periodo 1992-2015. En otras localidades de la provincia, los índices polínicos medios anuales fueron de 188 en Antequera (Recio *et al.*, 2000), 171 en Nerja (Docampo, 2008) y 166 en Estepona (Recio *et al.*, 2007). En resto de las provincias andaluzas, se encontró concentraciones parecidas excepto en Almería con un índice polínico anual medio de 853 (De Linares *et al.*, 2010).

Esta familia está formada principalemte por plantas herbáceas que dependen de las precipitaciones para su desarrollo y floración, de hecho la tendencia de la disminución y las

fluctuaciones de los índices polínicos anuales en la atmósfera de Málaga durante la serie estudiada, parece estar directamente relacionados con el régimen de lluvias observado, por lo que los índices polínicos elevados registrados durante los años 1994, 1996, 1998, 2010 y 2013 pueden deberse a la abundancia de las lluvias obtenidas durante dichos años.

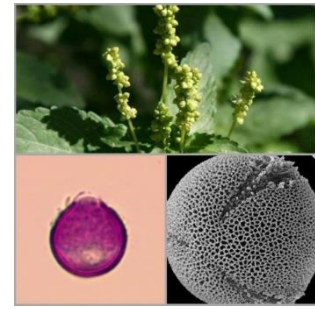
El polen de esta familia no se considera especialmente alergógeno, aunque algunos géneros han sido citados como causantes de alergias respiratorias como el caso de Brasil (Melhen *et al.*, 1979), Francia (Saumande *et al.*, 1980), España (Galán *et al.*, 1990) y más concretamente en las ciudades como Vigo (Belmonte *et al.*, 1998) y Cartagena (Belchi *et al.*, 1997) donde se han detectado pacientes alérgicos al polen de Compositae, específicamente a *Taraxacum* con un incidencia de sensibilización del 2% y el 3,3% respectivamente, a pesar de su baja incidencia en la atmósfera. Este género también ha sido como causante de polinosis (Guilarte, 2002).

Por otra parte, se ha documentado que el polen de Girasol, *Helianthus annuus*, a pesar de ser una planta entomófila, puede provocar polinosis al alcanzarse concentraciones considerables en el aire durante la floración en las proximidades de los cultivos (Jiménez *et al.*, 1994).

Por último, es de destacar que se han descrito reacciones cruzadas entre distintas especies de la familia incluidas las especies de los géneros *Artemisia* y *Ambrosia* (Fernández *et al.*, 1993) aunque, debido a su polinización anemófila y su especial morfología, los polenes de estas especies se estudian como tipos polínicos independientes, ya que además se consideran importantes aeroalérgenos.

### 4.4.3. Tipo polínico *Mercurialis*

Género de la familia Euphorbiaceae, representado por varias especies. Comparten el mismo tipo de hábitat con especies de *Urtica* y *Parietaria*, con las que es fácil confundidas. En la provincia de Málaga es frecuente *Mercurialis ambigua* L.fil, nitrófila y ruderal, que crece en escombreras y solares abandonados, así como por *Mercurialis tomentosa* L. que crece sobre suelos calizos y margosos formando parte de matorrales naturales. Se utiliza por sus propiedades medicinales como diurética y purgante.



#### 4.4.3.1. Descripción botánica

Son plantas herbáceas anuales o perennes, que no suele superar los 30 cm de altura. Hojas opuestas con contorno oval-lanceolado. Las plantas son androdioicas, es decir que existen plantas solo con flores masculinas y plantas con flores masculinas y femeninas. Las flores son axilares, verdosas, pequeñas y numerosas generalmente con tres sépalos; las masculinas con 8 a 25 estambres, las femeninas también trisépals, con dos carpelos. El fruto es una cápsula bicoca con una semilla en cada lóculo.

#### 4.4.3.2. Periodo de floración/polinización

Florece de octubre a junio. La polinización es anemófila.

#### 4.4.3.3. Morfología polínica

El polen es trizonocolporado, isopolar, radiosimétrico. De circular lobulado a subtriangular en vision polar y ligeramente éliptico en vision ecuatorial. Tamaño de pequeño a mediano. Las aberturas son compuestas, con ectoaberturas de tipo colpo y endoaberturas de tipo poro. Membrana apertural granulosa. La exina tiene unos 2  $\mu\text{m}$  de grosor, con sexina y nexina difíciles de distinguir. Téctum parcial, infratectum columelado. Superficie reticulada.

#### 4.4.3.4. Variación interanual

El polen de *Mercurialis* representó 1% del polen total del periodo estudiado. El índice polínico medio anual fue de 256, oscilando entre un mínimo de 166 en el año 2012 y un máximo de 513 entre en el año 2009. No obstante, la contribución de este tipo polínico al espectro polínico total ha sido diferente en cada año, siendo sensiblemente superior a 1% en los años 2008 (1,60%), 2002 (1,38%), 2009 (1,24%) y 1998 (1,13%) en orden de abundancia. Las concentraciones medias diarias máximas no fueron muy altas ya que variaron entre 4 y 23 g.p./m<sup>3</sup>, con un valor promedio de 13 g.p./m<sup>3</sup> (Tabla 4.143).

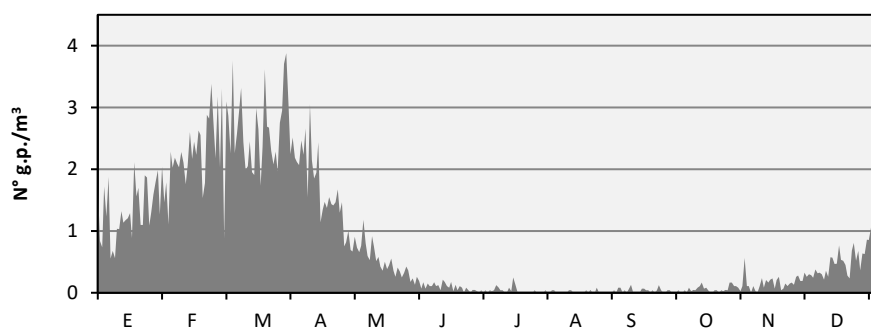


| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 220 | 0,99    | 8  |
| 1993  | 241 | 0,79    | 15   |
| 1994  | 202 | 0,74    | 7  |
| 1995  | 208 | 1,02    | 10   |
| 1996  | 371 | 0,87    | 16   |
| 1997  | 321 | 0,49    | 12   |
| 1998  | 386 | 1,13    | 20   |
| 1999  | 228 | 0,50    | 9  |
| 2000  | 293 | 0,90    | 12   |
| 2001  | 409 | 0,93    | 21   |
| 2002  | 432 | 1,38    | 23   |
| 2003  | 290 | 0,73    | 13   |
| 2004  | 171 | 0,68    | 6  |
| 2005  | 145 | 0,34    | 11   |
| 2006  | 270 | 1,00    | 21   |
| 2007  | 359 | 0,77    | 17   |
| 2008  | 512 | 1,60    | 22   |
| 2009  | 513 | 1,24    | 19   |
| 2010  | 278 | 0,68    | 9  |
| 2011  | 193 | 0,69    | 15   |
| 2012  | 116 | 0,39    | 4  |
| 2013  | 241 | 0,58    | 11   |
| 2014  | 132 | 0,32    | 8  |
| 2015  | 227 | 0,75    | 14   |
| Media | 256 | 1,00    | 13   |

**Tabla 4.143.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Mercurialis* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

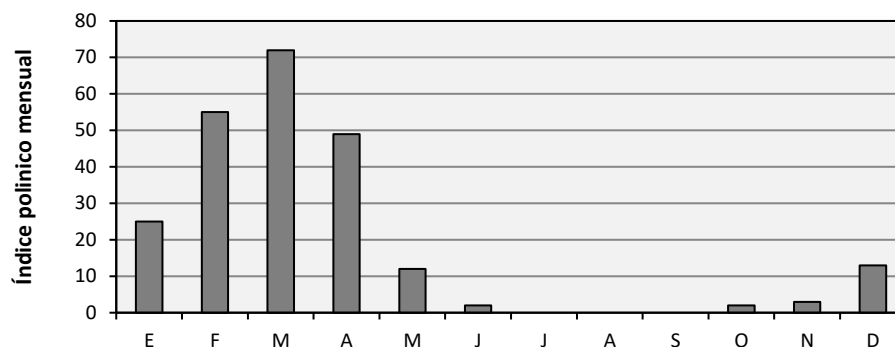
#### 4.4.3.5. Variación estacional

En lo referente al patrón promedio de la distribución de las concentraciones medias diaras, podemos apreciar que este tipo se detecta durante una buena parte del año, en la atmósfera de Málaga. Sin embargo, las mayores concentraciones se detectan durante el primer trimestre del año, durante los meses de febrero-marzo y un pequeño incremento a finales del año, fundamentalmente en el mes de diciembre (Fig. 4.192).



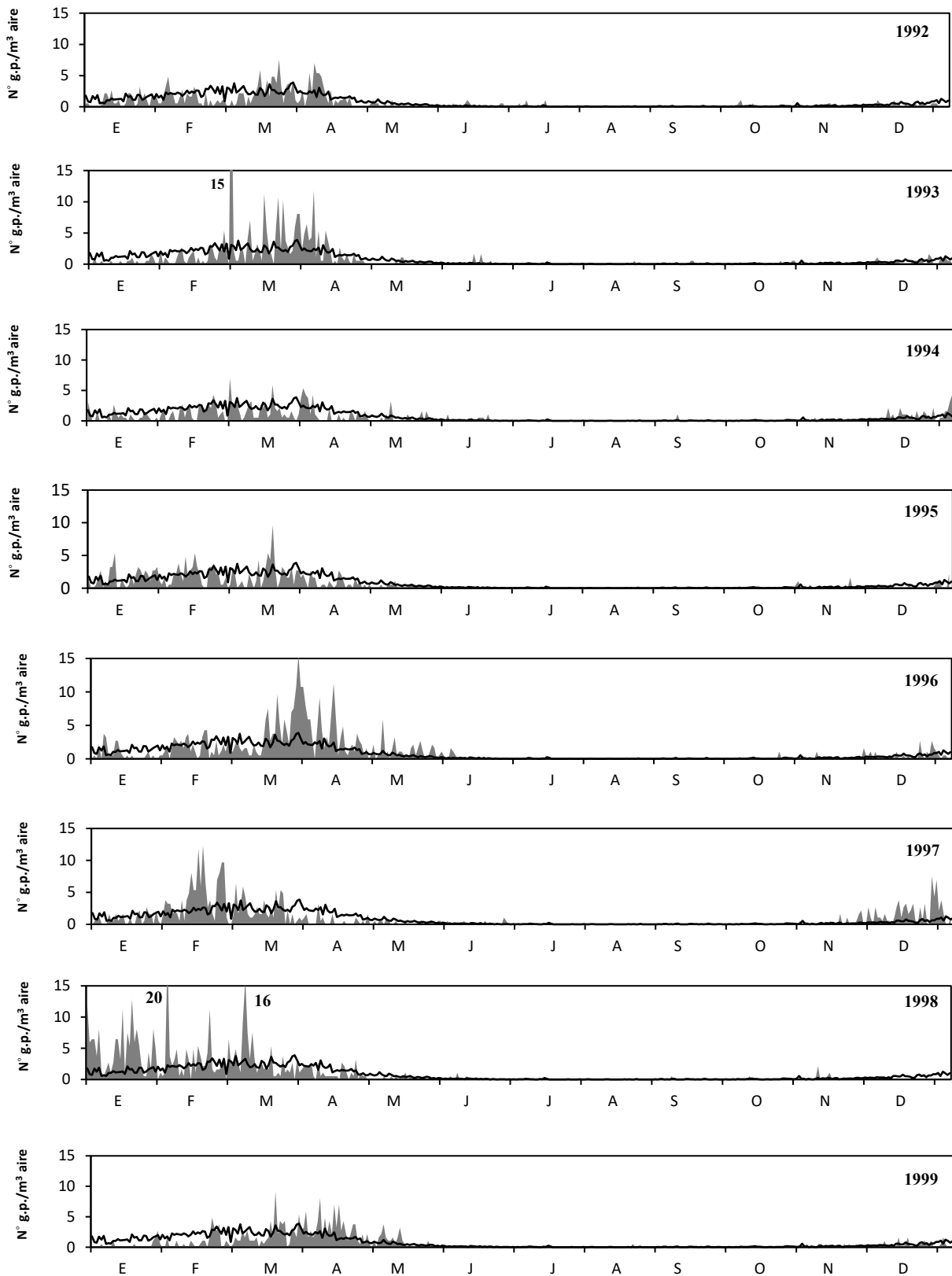
**Figura 4.192.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Mercurialis* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Durante los 24 años analizados, los índices de polen mensuales mostraron un fuerte incremento en el mes de febrero, con un valor medio de 55, llegando a alcanzar sus máximos en el mes de marzo, con IP medio de 72. Posteriormente, los niveles decrecen a partir del mes de abril. Durante el resto de los meses, los índices fueron prácticamente nulos, ya que entre los meses de junio a septiembre casi no se detecta este tipo polínico. A final del año, se incrementan ligeramente los índices polínicos de *Mercurialis*, aunque en niveles muy bajos que no suelen superar los 10, registrados en el mes de diciembre (Fig. 4.193)



**Figura 4.193.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Mercurialis* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En lo que se refiere a la distribución de las concentraciones medias diarias de polen de *Mercurialis* durante la serie estudiada, se observa que este polen apareció durante gran parte del año, pero en concentraciones bajas (Fig. 4.194). Este tipo polínico presentó un periodo de polinación muy estable, en el que se puede apreciar un par de picos, el primero desde enero hasta marzo y, al final del año, un segundo pico en el mes de diciembre con una intensidad muy baja. Durante los 24 años, *Mercurialis* presentó grandes fluctuaciones en las concentraciones medias diarias, si bien hay que señalar que se registraron niveles de polen por debajo de la curva polínica media durante los años 1994, 2004, 2005, 2012, 2014. En lo que se refiere a los picos máximos, éstos presentaron un comportamiento poco estable ya que las diferencias en las concentraciones máximas entre los distintos años fueron considerables apareciendo entre los meses de febrero a marzo. Durante el periodo completo analizado, el valor máximo registrado en el mes de febrero fue 20 g.p./m<sup>3</sup> (año 1998) y de 23 g.p./m<sup>3</sup> durante el mes de marzo (año 2002). Cabe destacar que los picos máximos del polen de *Mercurialis* se alcanzaron en el mes de abril, de forma particular, durante los años 2005 (11 g.p./m<sup>3</sup>), y 2006 (21 g.p./m<sup>3</sup>).



**Figura 4.194.** Concentraciones medias diarias de polen de *Mercurialis* en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

## Resultados

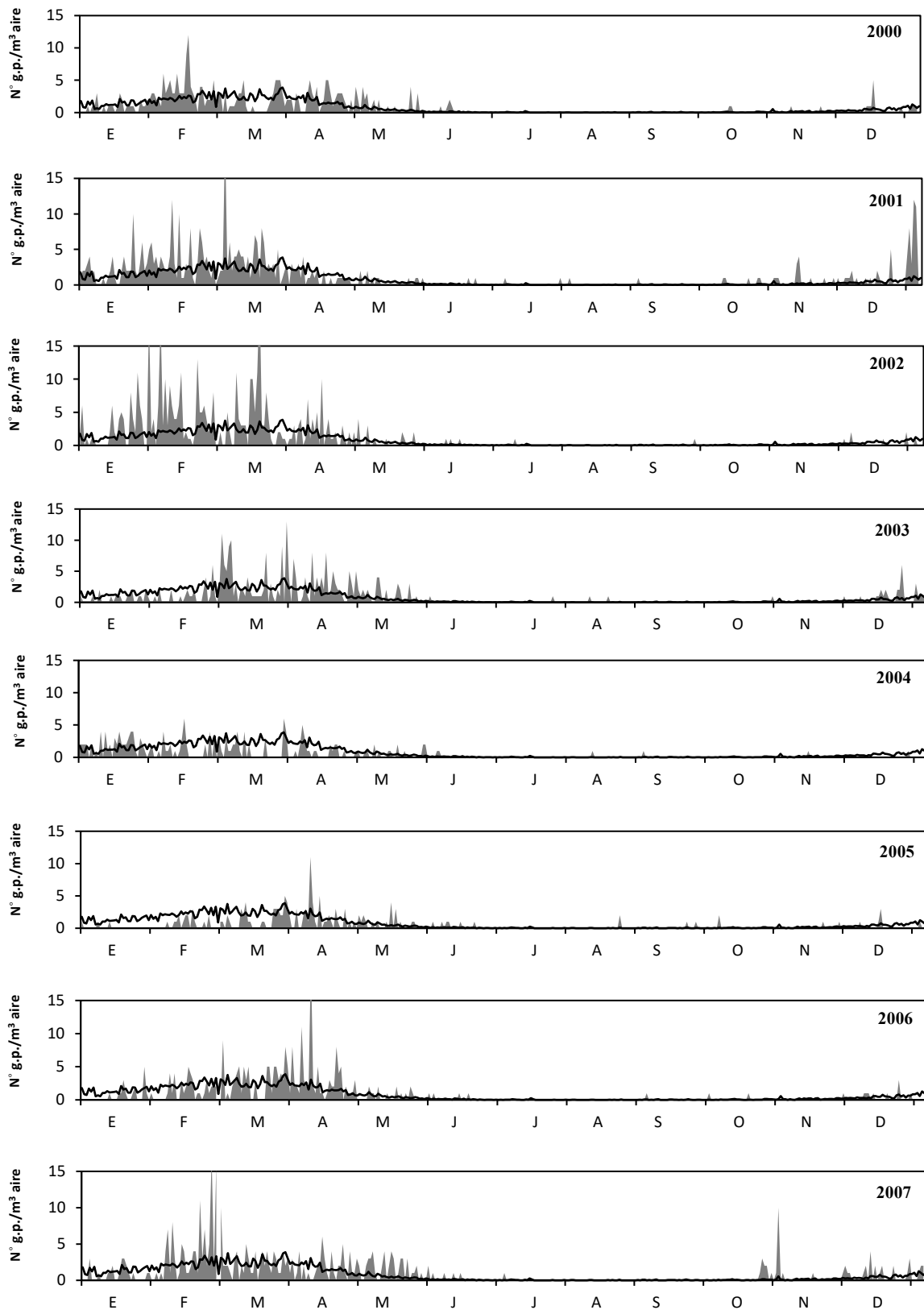


Figura 4.194. Continuación.

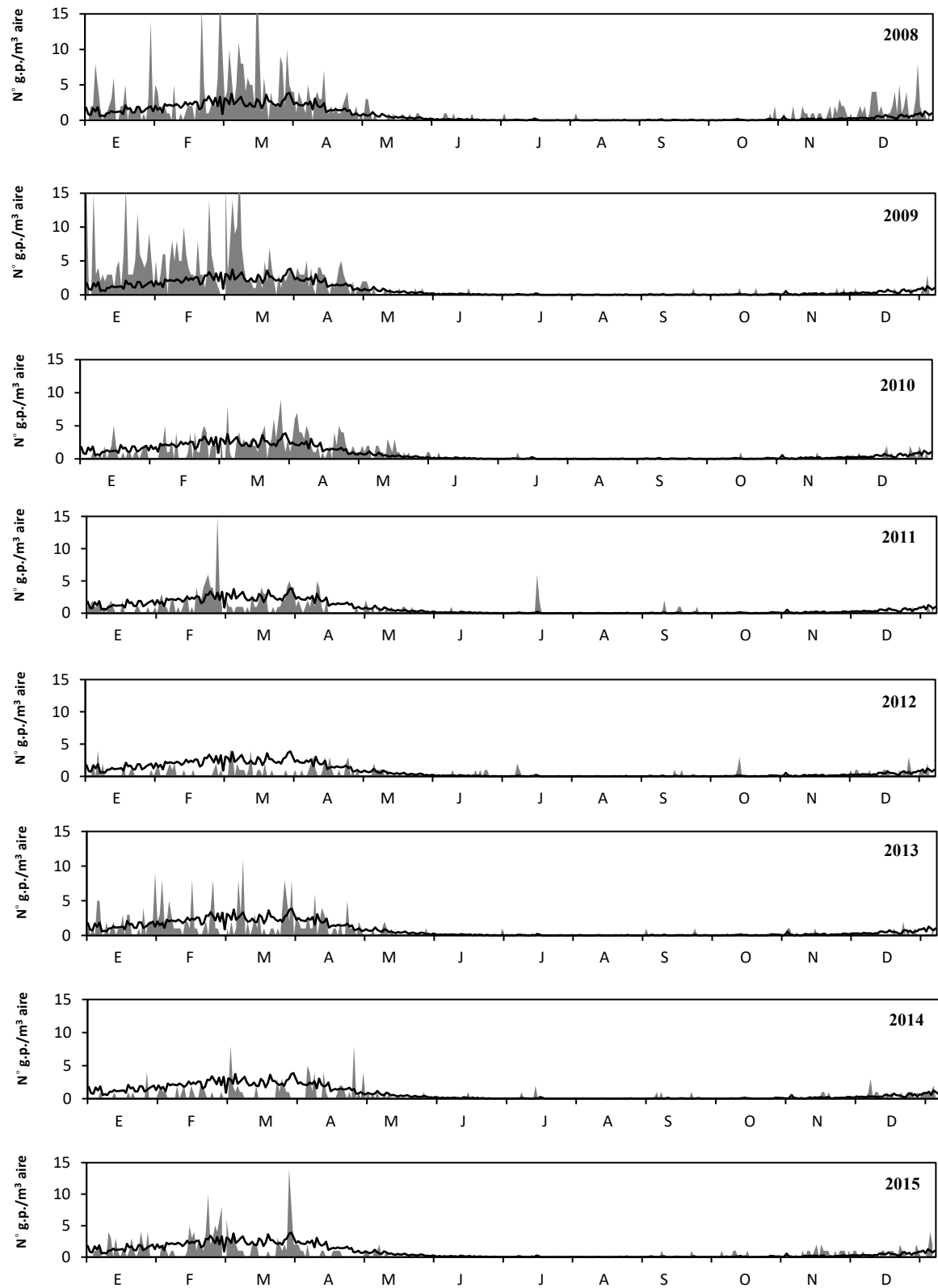
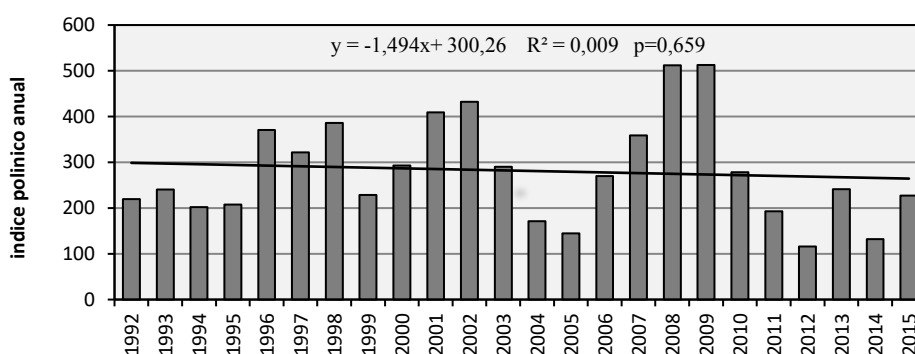


Figura 4.194. Continuación.

#### 4.4.3.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

La evolución de los índices polínicos anuales del tipo *Mercurialis* en Málaga muestra que los registros obtenidos durante los 24 años difieren bastante de un año a otro (Fig. 4.195). La tendencia analizada mediante el test *Mann-Kendall*, así como con el estudio de regresión, revela una disminución de estos índices polínicos anuales. Sin embargo, dicha tendencia no fue estadísticamente significativa ( $Z=-0,123$ ;  $p=0,434$ ) (Tabla 4.144). El parámetro pendiente de *Sen* confirma este patrón con valor negativo igual a  $-3,50$ .



**Figura 4.195.** Evolución interanual del índice polínico anual de *Mercurialis* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,123            | 0,434 | -3,50            |

**Tabla 4.144.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Mercurialis* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.4.3.7. Discusión

El género *Mercurialis* incluye plantas herbáceas que viven en ambientes nitrofilos y ruderales, como muros y solares abandonados. Debido a su polinización anemófila, su presencia en la atmósfera es relativamente frecuente desde finales de año hasta comienzos de la época estival.

Durante el periodo estudiado, el polen de *Mercurialis* fue un tipo típicamente invernal, presentándose un índice polínico medio de 256. Este comportamiento coincide con los registros observados en diferentes puntos de la Península Ibérica, con niveles que difieren de unas localidades a otras, destacando 577 Nerja (Docampo, 2008) junto con 678 en Motril (Nieto-Lugilde, 2008) con valores de 577 y 678, respectivamente, por ser las ciudades en las que se detectaron los mayores índices polínicos anuales de la Península Ibérica. También se alcanzaron niveles considerables y una evolución estacional similar en ciudades como Sevilla (Candau *et al.*, 2002b) o Tarragona (Belmonte *et al.*, 2002a).

Si bien que la contribución del polen de *Mercurialis* a la atmósfera de Málaga fue heterogénea de un año a otro, en algunos años supró el criterio utilizado para la separación entre tipos polínicos

principales y secundarios (>1% del total anual del periodo completo). Sin embargo, considerando los 24 años al completo, ha quedado clasificado como un tipo secundario. Esas diferencias interanuales detectas en cuanto a su evolución y a los porcentajes de contribución anual en el espectro polínico, pueden deberse a las variaciones en los parámetros meteorológicos y, especialmente en este caso, al tratarse de plantas herbáceas, al régimen en las lluvias, tal como explicó Docampo (2008) en cuanto al patrón observado en la localidad de Nerja y también Recio (1995) observándose una correlación directa entre la producción polínica de las herbáceas y las precipitaciones previas a la floración.

Junto con los parámetros meteorológicos, este comportamiento puede ser un resultado directo del cambio en la ocupación del suelo en la ciudad de Málaga y, especialmente, de los entornos cercanos al captador de polen. Algo similar sucedió, en Córdoba (García-Mozo *et al.*, 2016), en donde los tipos polínicos de las herbáceas ruderales como *Amaranthaceae*, *Plantago*, *Rumex*, *Parietaria* presentaron una tendencia de disminución de los registros polínicos durante el periodo 1996-2010. Este patrón ha sido vinculado a los cambios recientes en las estrategias de planificación urbana, que implican un aumento de la superficie de las zonas urbanizadas y una reducción de los terrenos abandonados, en los últimos años del estudio.

La Capacidad alérgica de *Mercurialis* ha sido evaluada en los pacientes del suroeste de Europa, como Francia (Lelong *et al.*, 1980), en España (García ortega *et al.*, 1992; García ortega & Belmonte, 2002) e Italia (Ariano *et al.*, 1994).

En España, se ha reportado que 46% de los pacientes presentaron un skin test positivo a *Mercurialis annua* L. aunque fueron también muy significativos los casos de reactividad cruzada con los tipos polínicos como *Poaceae*, *Olea*, *Fraxinus*, *Ricinus*, *Chenopodiaceae*-*Amaranthaceae*, *Parietaria* y *Artemisia* (Vallverdú *et al.*, 1997; Palosuo *et al.*, 2002).

Por otra parte, se observaron porcentajes relativamente elevados de sensibilización al polen de *Mercurialis*, con 17% en Tarragona (García Ortega *et al.*, 1992), 43% Badajoz (González *et al.*, 1998), 9% en Málaga (Torrecillas *et al.*, 1998) y 8% en Elche (Fernández Sánchez *et al.*, 1998).

### 4.4.4. Tipo polínico Palmae

Familia en la que la mayoría de sus especies son originarias de América, norte de África y del suroeste de Asia. En la península, se encuentra una sola especie autóctona del Mediterráneo Occidental; *Chamaerops humilis* L. (palmito). En Málaga, existen numerosas especies cultivadas como ornamentales, Trigo (1992) citó 16 géneros y 22 especies, de las más frecuentes son *Phoenix canariensis* Chabaud., *Phoenix dactylifera* L., *Washingtonia filifera* Wendl., *Washingtonia robusta* Wendl. y *Trachycarpus fortunei* (Hook.) Wendl. Los frutos (dátiles) se emplean como alimento, así como en medicina popular.



#### 4.4.4.1. Descripción botánica

Son plantas perennes, con tallo cubierto de cicatrices foliares y un penacho de hojas de gran tamaño, palmeadas o pinnadas, dispuestas en el ápice. Flores hermafroditas o unisexuales, generalmente blanquecinas o amarillentas y están dispuestas en grandes inflorescencias provistas de espata. Las flores presentan seis piezas periantales y seis estambres. El fruto es una baya o una drupa.

#### 4.4.4.2. Época de floración/polinización

El palmito florece desde finales de marzo hasta mayo y las especies más frecuentemente cultivadas, pueden encontrarse en flor en todo el año. La polinización, es anfífila, aunque en muchas palmeras, como la dactilífera, son anemófilas.

#### 4.4.4.3. Morfología polínica

Polen monoanasulcado. Heteropolar y bisimétrico. Elíptico a veces subcircular, en visión polar, y planoconvexa en visión ecuatorial. De oblado esferoidal a peroblado. De tamaño pequeño a mediano, a veces grande. La única abertura que presenta es de tipo sulco y está situada en el polo distal, recorriendo el eje mayor del mismo. Superficie de perforada a reticulada.

#### 4.4.4.4. Variación interanual

El polen de Palmae contribuyó con 0,89% al espectro polínico, si bien que su aportación fue variable de un año a otro, entre 0,33% (año 1993) y 2,41% (año 2010). El índice anual medio ha sido 303 durante el periodo (1992-2015), si bien que el valor alcanzado por los IPAs se caracterizó con una gran irregularidad. El año con el menor contenido fue 2006 con un total de 99, mientras que el máximo fue 2010 con 980. Un comportamiento similar en lo que se refiere a los picos máximos ya que fluctuaron entre 4 y 105 granos de polen/m<sup>3</sup> (Tabla 4.145).

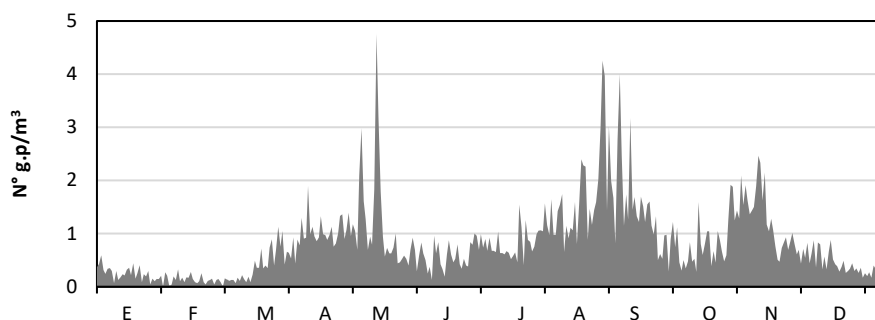


| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 182 | 0,82    | 11   |
| 1993  | 101 | 0,33    | 9  |
| 1994  | 168 | 0,62    | 14   |
| 1995  | 319 | 1,56    | 18   |
| 1996  | 846 | 1,98    | 56   |
| 1997  | 735 | 1,12    | 55   |
| 1998  | 478 | 1,40    | 32   |
| 1999  | 490 | 1,07    | 29   |
| 2000  | 190 | 0,58    | 5  |
| 2001  | 221 | 0,50    | 8  |
| 2002  | 157 | 0,50    | 5  |
| 2003  | 228 | 0,58    | 11   |
| 2004  | 152 | 0,60    | 8  |
| 2005  | 111 | 0,26    | 7  |
| 2006  | 99  | 0,37    | 4  |
| 2007  | 207 | 0,45    | 9  |
| 2008  | 272 | 0,85    | 13   |
| 2009  | 270 | 0,65    | 12   |
| 2010  | 980 | 2,41    | 105  |
| 2011  | 278 | 1,00    | 8  |
| 2012  | 183 | 0,62    | 10   |
| 2013  | 199 | 0,48    | 23   |
| 2014  | 243 | 0,59    | 12   |
| 2015  | 169 | 0,89    | 6  |
| Media | 303 | 0,89    | 20   |

**Tabla 4.145.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico Palmae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

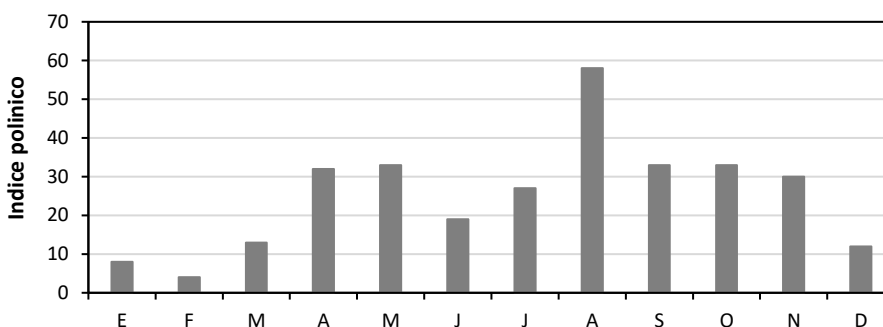
#### 4.4.4.5. Variación estacional

En la evolución de los valores promedio de las concentraciones medias diarias del tipo polínico Palmae durante el periodo completo, se muestra que éste polen apareció de forma frecuente a lo largo de todo el año con concentraciones muy bajas, si bien existen tres periodos marcados que registraron niveles más elevadas, marzo-mayo, junio-septiembre y octubre-diciembre. Las concentraciones máximas diarias alcanzadas no superan los 4 granos de polen/m<sup>3</sup> (Fig. 4.196).



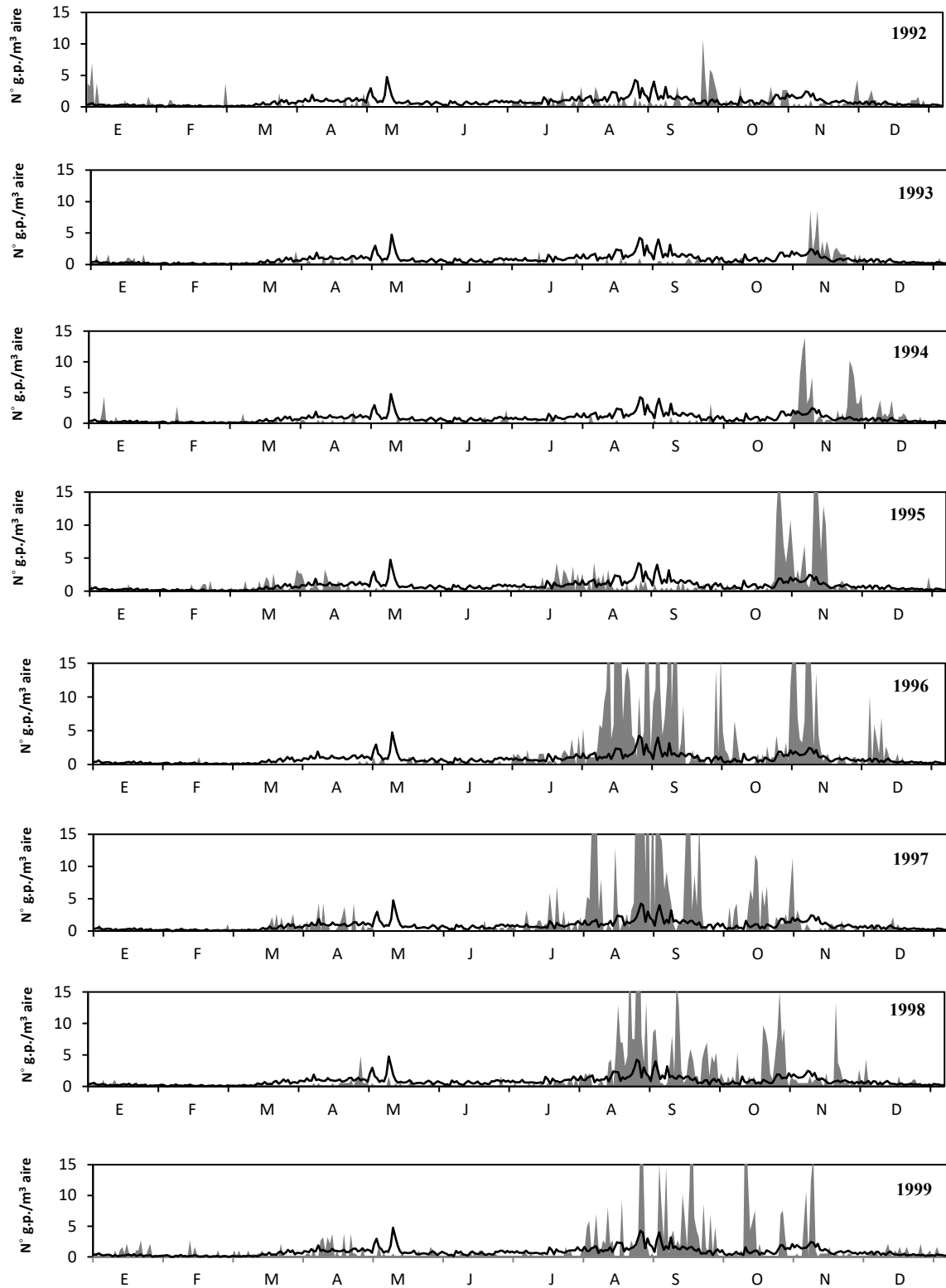
**Figura 4.196.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de Palmae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

En lo que se refiere a la evolución de los índices polínicos mensuales de Palmae, observamos que se produce un ligero aumento a partir del mes marzo registrándose un incremento importante en el mes de mayo, con valor medio de 33, seguido por otro pico, más elevado, en el mes de agosto, que alcanzó un índice polínico mensual medio igual a 58. Posteriormente, los niveles decrecen paulatinamente en los meses de septiembre a diciembre, obteniéndose el IP medios más elevado (33) de este último periodo en los meses de septiembre y octubre (Fig. 4.197).



**Figura 4.197.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico Palmae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

Con respecto a la distribución de las concentraciones medias diarias, se observa que éste fue diferente de un año a otro, si bien hay que señalar en los años 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999 y 2010 que se registraron niveles de polen por superiores a la curva polínica media (Fig.4.198). Este tipo polínico presentó un periodo de polinación muy largo en el que se puede apreciar una serie de picos con diferentes intensidades, según el año, ya que el patrón de la fecha de los picos máximos fue poco estable, tal y como también se refleja en la tabla 4.145.



**Figura 4.198.** Concentraciones medias diarias de polen de Palmae en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados (1992-2015) y valor promedio (línea).

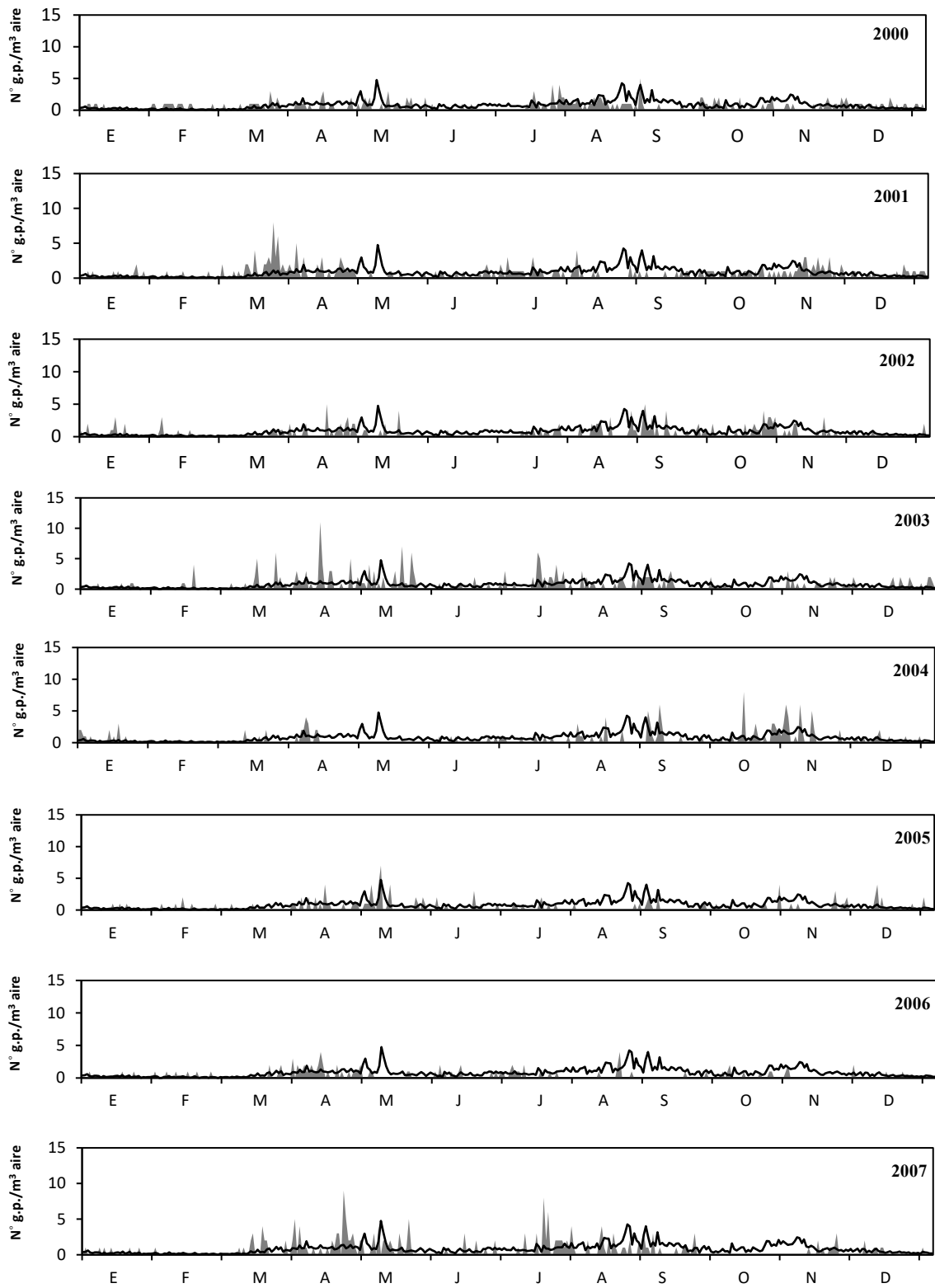


Figura 4.198. Continuación.

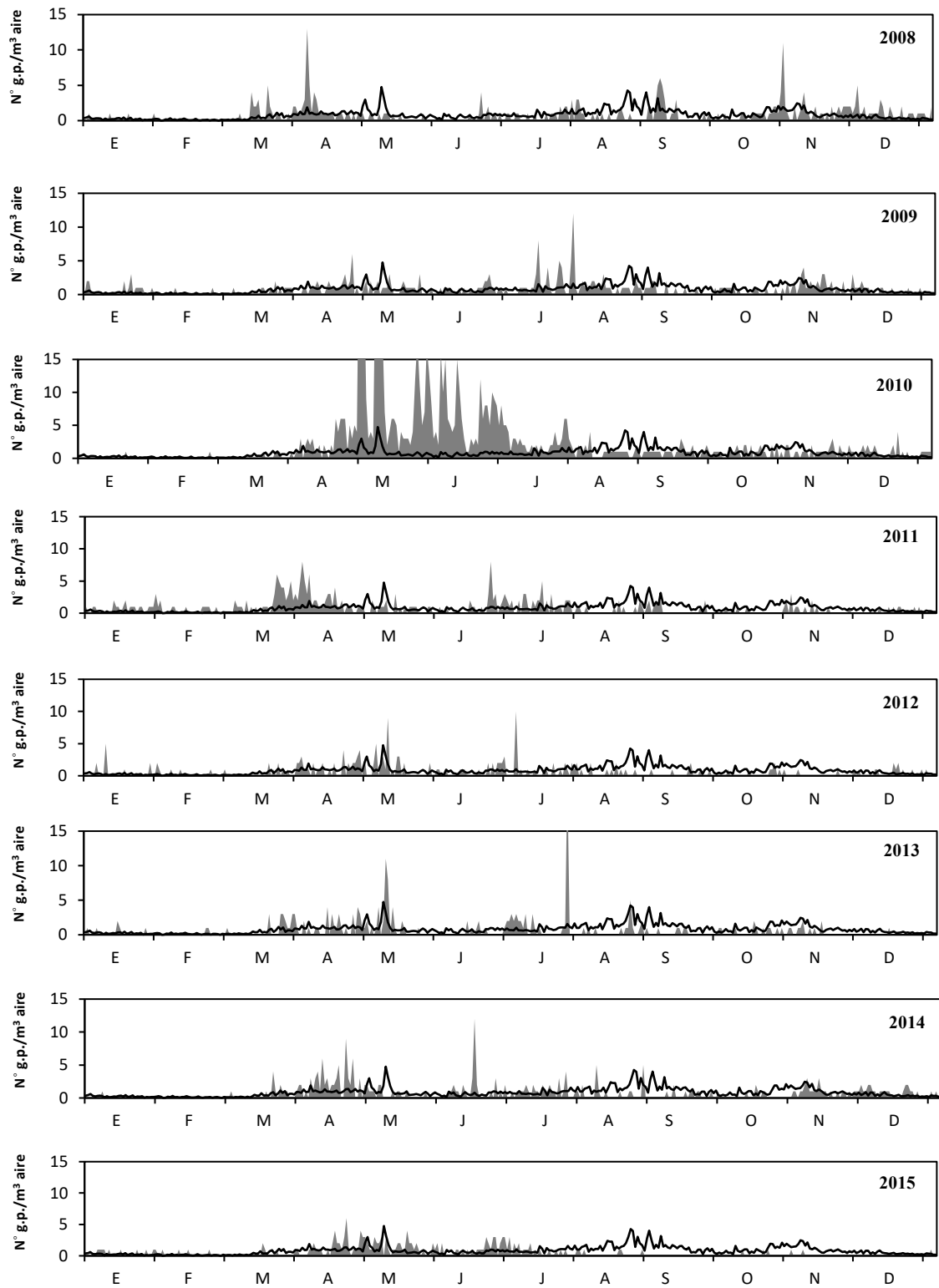
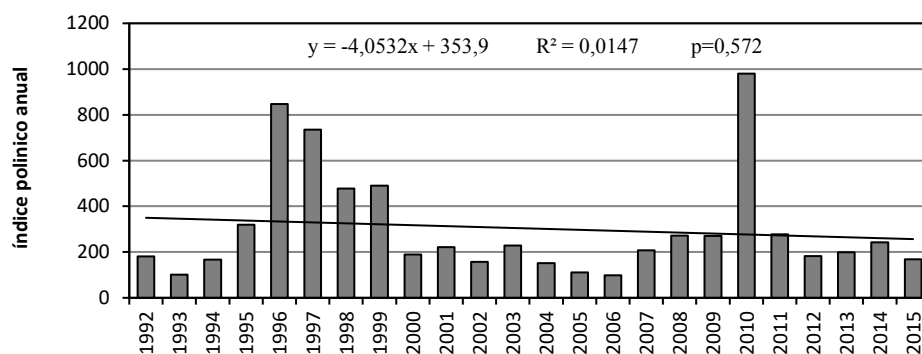


Figura 4.198. Continuación.

## 4.4.4.6. Estudio de tendencia

## ▪ Índice polínico anual

En la figura 4.199 se muestra el patrón de los índices polínicos del tipo *Palmae* durante el periodo 1992-2015. La tendencia observada explica un descenso de los registros en la atmósfera de Málaga. Este comportamiento fue estadísticamente no significativo ( $Z=-0,036$ ;  $p=0,826$ ) (Tabla 4.146). Por otra parte, el parámetro pendiente de *Sen* revalida esta pauta mostrando un valor negativo igual  $-1,36$ .



**Figura 4.199.** Evolución interanual del índice polínico anual de *Palmae* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,036            | 0,826 | -1,36            |

**Tabla 4.146.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Palmae*, en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y la estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

## 4.4.4.7. Discusión

El polen de *Palmae* corresponde tanto con especies de esta misma familia que se desarrollan de modo silvestre como con las que son cultivadas como ornamentales. Los estudios aerobiológicos realizados sobre este taxón son muy escasos, probablemente debido a las bajas concentraciones en las que normalmente se colecta. En la Península Ibérica, este polen aparece generalmente en la costa mediterránea y de forma especial en Almería (Sabariego, 2003), donde se han registrado niveles más altos de todas las localidades españolas de las que se tiene información, ya que constituye el cuarto tipo en orden de abundancia en esta localidad. En Málaga, las diferentes especies de *Palmae* se utilizan como plantas ornamentales, siendo *Chamaerops humilis* la única especie autóctona de la región mediterránea que se encuentra ampliamente distribuida en nuestra área de estudio, desde la zona litoral hasta los 1.000 metros de altitud. El polen de palmeras se detecta durante todo el año en la atmósfera de Málaga debido a la presencia de diferentes especies que solapan sus periodos de floración y, por consiguiente, de polinación.

Durante los años analizados, el índice polínico medio para Málaga fue 303. Valores similares han sido registrados en localidades cercanas de la misma provincia, como Antequera con IPA de 329 (Recio *et al.*, 2000), Nerja con 249 (Docamp, 2008) y Estepona con 212 (Recio *et al.*, 2006), mientras que en otros lugares como Motril (Nieto-Lugilde *et al.*, 2004) o Cádiz (Candau *et al.*, 2002a) se alcanzaron cantidades algo mayores ya que los índices polínicos medios fueron de 346 y 344, respectivamente.

Si bien que es tipo polínico muy bien adaptado al clima mediterráneo, pero hemos encontrados un patrón claro explicando la disminución de los índices polínicos anuales a lo largo de los 24 años estudiados. Probablemente la principal causa para este comportamiento de la variación interanual sea debida, en gran parte, a la evolución de las lluvias registradas durante el periodo analizado. Los años en los que se detectan los mayores registros del polen de *Palmae* han sido 1996, 1997 y 2010 (Tabla 4.145), los mismos que se vieron afectados por la presencia de abundantes precipitaciones con 1155,9 mm, 849,2 mm y 1207,0 mm, respectivamente.

En lo que se refiere su potencial alergógeno, varios autores tales como Subba Reddi (1974), Sáenz (1978), Michel *et al.* (1978), Lewis *et al.* (1983), Singh (1987) y Blanco *et al.* (1995) han citado al polen de palmeras como aeroalergeno. Chakraborty *et al.* (1996, 1999) han analizado el potencial alergénico de las proteínas polínicas de varias especies como *Areca catechu*, *Borassus flabellifer* y *Phoenix sylvestris*, mediante el skin-prick test, siendo esta última que presentó mayor frecuencia de polinosis de los pacientes en India. Según Radwan *et al.* (2006), este polen debe ser considerado como un importante alérgeno en aquellos países donde sus especies abundan. De hecho, en Arabia Saudí, el polen de *Phoenix dactylifera* ha sido citado como uno de los principales causantes de polinosis entre la población atópica (Harfi *et al.*, 1992). Además, Kawassi *et al.* (1992) encontraron un 25% de pacientes que presentaron una reacción positiva a los tests cutáneos realizados con extractos de polen de *P. dactylifera*. Por otra parte, en su trabajo Kwassi *et al.* (1994) pusieron de manifiesto que la alergenicidad de las variedades *Phoenix dactylifera* varían en función de la cantidad de alérgenos mayores que presenta cada una de ellas.

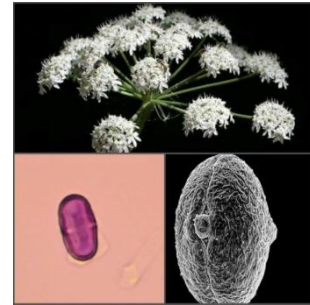
En España, los casos de alergia al polen de *Palmae* registrados han sido muy escasos, con la excepción de la localidad de Elche, donde se han encontrado pacientes alérgicos a este polen, con un 5,6% de positividades en las pruebas cutáneas (Fernández Sánchez *et al.*, 1998).

### 4.5. TIPOS POLÍNICOS MINORITARIOS

Se incluyen en este apartado todos aquellos tipos polínicos que, para el conjunto de los años estudiados, presentaron un porcentaje entre 0,1-0,5% del total de los registros de polen obtenidos para la atmósfera de Málaga.

#### 4.5.1. Tipo polínico Apiaceae

Incluye las especies de la familia Apiaceae=Umbelliferae. Sus especies forman parte tanto de la vegetación natural mediterránea, como de cultivos y de flora ornamental. Entre las cultivadas podemos citar la zanahoria (*Daucus carota* L.), el apio (*Apium graveolens* L.), el cilantro (*Coriandrum sativum* L.), el perijil (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nym.). En la provincia de Málaga se han citado 44 generos y 79 especies de amplia distribución corológica y diferentes comportamientos ecológicos (Cabezudo *et al.*, 1992).



##### 4.5.1.1. Descripción botánica

Hierbas anuales, bienales o perennes, a veces arbustos. Hojas alternas, sin estipulas, frecuentemente muy divididas y a veces espinosas. Inflorescencias en umbelas terminales, axilares u opuestas a las hojas, simples o compuestas, algunas veces muy modificadas y reducida a una sola flor. Las flores son pequeñas, hermafroditas, pentámeras, con el ovario infero. El fruto presenta un gran variabilidad morfológica pero es básicamente un esquizocarpo.

##### 4.5.1.2. Época de floración/polanización

Florece desde abril hasta finales del verano (julio-agosto), con polinización entomófila aunque es muy frecuente encontrarlos en los muestreos aerobiológicos.

##### 4.5.1.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado, isopolar, con simetría radial. De circular a elíptico en visión ecuatorial, y de circular a subtriangular en visión polar. Tamaño de pequeño a mediano. Aberturas compuestas, ectoaberturas de tipo colpo, endoaberturas de tipo poro. Exina de grosor variable, con la nexina engrosada en las endoaberturas para formar costillas. Superficie psilada, rugulada o escábrida.

##### 4.5.1.4. Variación interanual

El tipo polínico Apiaceae se ha detectado en el muestreo aerobiológico en la atmósfera de Málaga durante todos los años analizados, con una contribución anual media al espectro polínico total del 0,29% (Tabla 4.147). Los registros de mayor incidencia tuvieron lugar en el año 2007 con un IPA de 236, mientras que los valores más bajos se registraron en el año 2005 con un IPA de 16, con un valor anual medio igual a 98. Puesto que es un tipo polínico con polinización principalmente entomófila, los picos máximos diarios obtenidos fueron muy bajos, ya que no superaron los 24 granos de polen/m<sup>3</sup> durante el periodo (1992-2015).

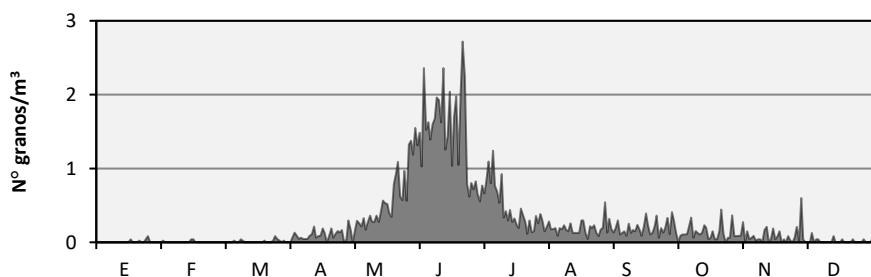


| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 85  | 0,39    | 10   |
| 1993  | 105 | 0,34    | 9  |
| 1994  | 129 | 0,47    | 19   |
| 1995  | 30  | 0,14    | 2  |
| 1996  | 173 | 0,40    | 12   |
| 1997  | 76  | 0,12    | 4  |
| 1998  | 67  | 0,20    | 6  |
| 1999  | 28  | 0,06    | 6  |
| 2000  | 80  | 0,25    | 14   |
| 2001  | 90  | 0,21    | 9  |
| 2002  | 72  | 0,23    | 6  |
| 2003  | 120 | 0,30    | 10   |
| 2004  | 132 | 0,52    | 16   |
| 2005  | 16  | 0,04    | 3  |
| 2006  | 59  | 0,22    | 5  |
| 2007  | 236 | 0,51    | 24   |
| 2008  | 117 | 0,36    | 16   |
| 2009  | 126 | 0,30    | 4  |
| 2010  | 157 | 0,39    | 9  |
| 2011  | 148 | 0,53    | 13   |
| 2012  | 54  | 0,18    | 5  |
| 2013  | 135 | 0,32    | 10   |
| 2014  | 54  | 0,13    | 6  |
| 2015  | 51  | 0,17    | 2  |
| Media | 98  | 0,29    | 9  |

**Tabla 4.147.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico Apiaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.1.5. Variación estacional

En la figura 4.200 se muestra el patrón medio que describe este polen durante los años (1992-2015) en la atmósfera de Málaga. El polen de Apiaceae se detectó durante todo el año, si bien con concentraciones medias diarias muy bajas. No obstante presenta una cierta estacionalidad que se desarrolla, desde los principios de abril hasta finales de noviembre. Sin embargo, durante el mes de junio cuando realmente se detectan los niveles de mayor importancia de Apiaceae en la atmósfera con índice polínico mensual medio de 43 (Fig. 4.201).



**Figura 4.200.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de Apiaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

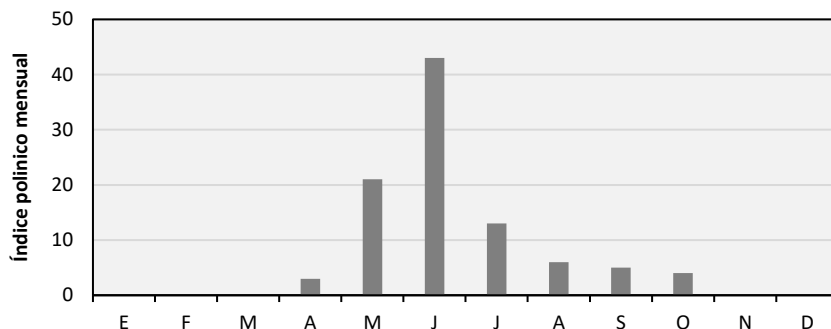


Figura 4.201. Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico Apiaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.1.6. Estudio de tendencia

- Índice polínico anual

Durante el periodo analizado, el polen de Apiaceae muestra un comportamiento heterogéneo en cuando a lo que se refiere a los índices polínicos anuales. El análisis de la evolución de dichos índices mediante la prueba de regresión muestran una ligerísima tendencia al aumento aunque con valores no significativos (Fig. 4.203), lo que confirma también la prueba de *Mann-Kendall* (Tabla 4.148), con un valor del parámetro de *Sen*, positivo, de 0,67.

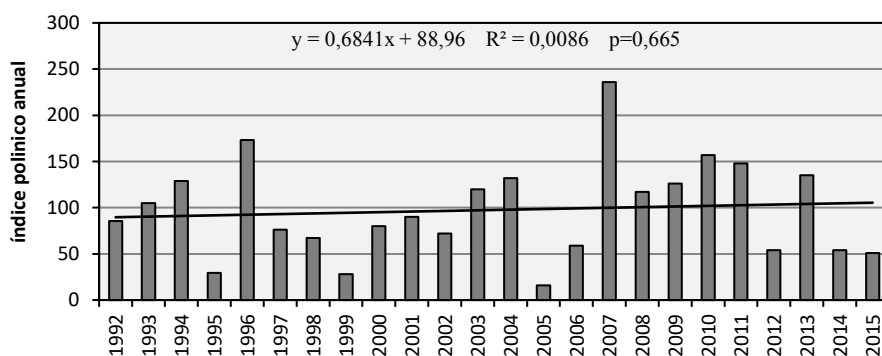


Figura 4.203. Evolución interanual del índice polínico anual del polen de Apiaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,033             | 0,843 | 0,67             |

Tabla 4.148. Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de Apiaceae usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen* en la atmósfera de Málaga, durante la serie (1992-2015).

#### 4.5.1.7. Discusión

El tipo polínico Umbelliferae (Apiaceae) incluye de 79 especies de amplia distribución corológica y diferentes comportamientos ecológicos en la provincia de Málaga (Cabezudo *et al.*, 1992). Si bien que son fundamentalmente entomófilas, el polen de las apiaceas se detecta en nuestra área de estudio de

forma frecuente y en pequeñas cantidades, ya que el presentar inflorescencias muy expuestas al viento hace que los granos de polen pueden ser fácilmente transportados en el aire (Docampo, 2008).

En la Península Ibérica, en los muestreos aerobiológicos, este polen presenta una incidencia baja y se detecta en puntos muy diversos como Madrid (Gutiérrez Bustillo *et al.*, 2002), Ourense (Méndez *et al.*, 2002a), Vigo (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2002), Oviedo (Fernández casado *et al.*, 2002), si bien con cantidades inferiores a los detectados en la costa malagueña.

En nuestro estudio, el índice polínico anual medio de este tipo polínico fue de 98 durante el periodo 1992-2015. En estudio previos llevados a cabo en la misma provincia, como las localidades de Antequera, Estepona (Recio *et al.*, 2000; 2006), los índices polínicos medios anuales fueron algo mayores, de 103 y 102 respectivamente. Este puede ser debido a la existencia de un mayor área de terrenos de cultivos, y a la menor distancia existente entre dichos cultivos y la posición del muestreador.

En lo que se refiere a la evolución de los registros polínicos de Apiaceae en la atmósfera de Málaga, el carácter entomófilo de este polen parece ser un factor directamente responsable del patrón observado, ya que no se detectó ninguna tendencia clara.

La alergenicidad ha sido poco estudiada debido a la baja incidencia de este polen en la atmósfera, sólo ha sido descrito algunos casos en el género *Daucus* como causante de polinosis aisladas en Norteamérica (Lewis & Vinay, 1979; Lewis *et al.*, 1983). Por otra parte, se ha encontrado reactividad cruzada entre el antígeno Bet v1 de *Betula* y Api g 1 de *Apium* (Hoffmann-sommergruber *et al.*, 1999). Más recientemente se han puesto de manifiesto casos de sensibilización al polen de *Daucus carota*, al igual que de alergia alimentaria a zanahoria (Moreno-Ancillo *et al.*, 2006).

#### 4.5.2. Tipo polínico Brassicaceae

Este tipo polínico está integrado por las especies de la familia Crucifera que comprende unos 380 generos y casi 3000 especies, bien distribuidos por todo el mundo, especialmente por las regiones templadas del Hemisferio Norte, siendo la Península Ibérica un importante centro de diversificación. En Málaga, se encuentran frecuentemente *Brassica nigra* (L.) Koch., *Eruca sativa* (L.) Cav., *Diplotaxis virgata* (Cau.) DC, *Coronopus didymus* (L.) Sm., *Lobularia maritima* (L.) Desv., *Sinapis alba* L., *Rapistrum rugosum* (L.) All., entre otras muchas.



##### 4.5.2.1. Descripción bótanica

Plantas herbáceas, rara vez subarborescentes, anuales, bienales o perennes. Hojas simples, alternas, rara vez opuestas, con el borde entero, dentado o más o menos inciso. Flores hermafroditas, actinomorfas, reunidas, por lo común, en racimos más o menos densos. Tienen 4 sépalos y 4 pétalos formando una cruz. Fruto de tipo silicua o silícula, dehiscentes mediante 2 silicuas.

#### 4.5.2.2. Época de floración/polinización

Suelen florecer durante los meses de marzo a junio. La polinización es típicamente entomófila aunque, en menor medida, el polen puede dispersarse por el aire.

#### 4.5.2.3. Morfología polínica

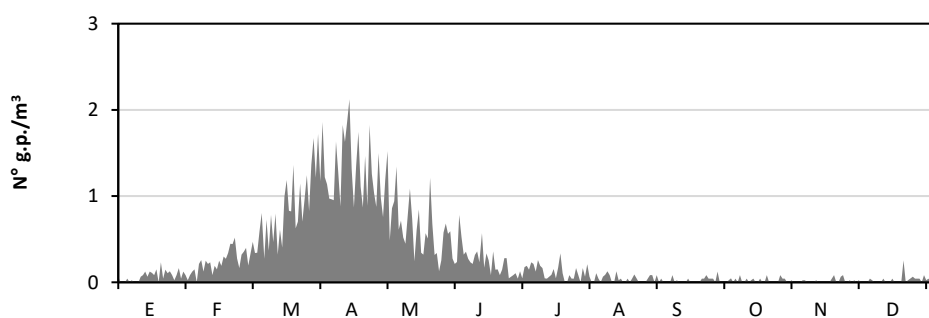
Polen trizonocolporado, isopolar y con simetría radial. Circular, a veces ligeramente lobulado en visión polar, y de circular a ligeramente elíptico en vista polar. Tamaño pequeño a mediano. Aberturas simples, de tipo colpo, membrana apertural granulada. Exina de 2-3 $\mu$ m de grosor, con columelas gruesas. Superficie reticulada, de lúmenes irregulares.

#### 4.5.2.4. Variación interanual

El polen de Brassicaceae representó el 0,31% del total anual, con un índice polínico anual medio de 106 durante el periodo estudiado (1995-2015). Los IPAs fueron variable de un año a otro, alcanzándose el más elevado en el año 1996, con un valor de 414, mientras el más bajo se registró en el año 2015, con un valor de 13. Su carácter entomófilo hace que los picos máximos diarios detectados sean bajos, ya que varían entre un mínimo de 2 g.p./m<sup>3</sup> (año 2015) y un máximo de 23 g.p./m<sup>3</sup> (año 1996), siendo la media de 8 g.p./m<sup>3</sup> (Tabla 4.149).

#### 4.5.2.5. Variación estacional

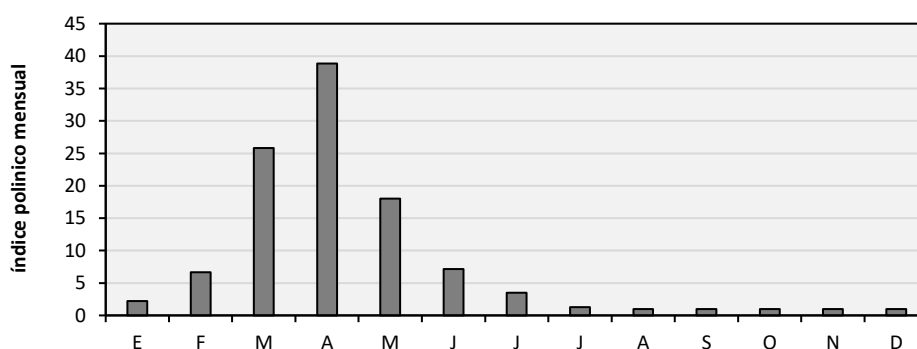
Esta familia presenta una polinización con mayor incidencia durante la primavera, registrándose las concentraciones medias diarias más importantes de marzo a mayo (Fig. 4.204), alcanzando habitualmente las cantidades máximas en abril, mes que presenta con índice polínico mensual promedio de 39 (Fig. 4.205). Esporádicamente también se detectaron algunos granos de polen durante el resto del año.



**Figura 4.204.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de Brassicaceae en la atmósfera de Málaga (1995-2015).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1995  | 61  | 0,30    | 5  |
| 1996  | 414 | 0,97    | 23   |
| 1997  | 59  | 0,09    | 3  |
| 1998  | 177 | 0,52    | 11   |
| 1999  | 101 | 0,22    | 10   |
| 2000  | 152 | 0,47    | 8  |
| 2001  | 161 | 0,37    | 7  |
| 2002  | 155 | 0,50    | 13   |
| 2003  | 99  | 0,25    | 6  |
| 2004  | 85  | 0,34    | 3  |
| 2005  | 100 | 0,23    | 13   |
| 2006  | 148 | 0,55    | 12   |
| 2007  | 89  | 0,19    | 6  |
| 2008  | 154 | 0,48    | 16   |
| 2009  | 187 | 0,45    | 10   |
| 2010  | 78  | 0,19    | 3  |
| 2011  | 75  | 0,27    | 5  |
| 2012  | 53  | 0,18    | 3  |
| 2013  | 125 | 0,30    | 9  |
| 2014  | 59  | 0,14    | 5  |
| 2015  | 13  | 0,04    | 2  |
| Media | 106 | 0,31    | 8  |

**Tabla 4.149.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico Brassicaceae en la atmósfera de Málaga (1995-2015).

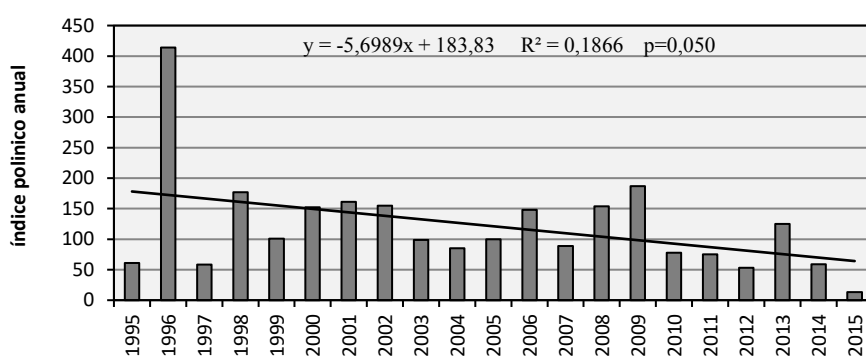


**Figura 4.205.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico Brassicaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1995-2015).

## 4.5.2.6. Estudio de tendencia

- Índice polínico anual

El gráfico interanual muestra que durante los 21 años analizados se ha registrado un descenso en la producción polínica de Brassicaceae. El análisis del comportamiento en cuando a las polínicos anuales se refiere, muestra una tendencia negativa y estadísticamente significativa tanto con el estudio de regresión como con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,324$ ;  $p=0,043$ ) (Tab. 4.150). Por otra parte, si tenemos en cuenta el parámetro pendiente de *Sen*, se observa que la evolución de los registros de este polen ha sido de signo negativo, con un valor de dicho parámetro igual a  $-3,22$  (Fig. 4.206).



**Figura 4.206.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de Brassicaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1995-2015).

| <i>Serie</i> | <i>Inicio</i> | <i>Final</i> | <i>n</i> | <i>Mann-Kendall Test</i> |             | <i>Pendiente de Sen</i> |
|--------------|---------------|--------------|----------|--------------------------|-------------|-------------------------|
|              |               |              |          | <i>Z</i>                 | <i>Sig.</i> | <i>Q</i>                |
| IPA          | 1995          | 2015         | 21       | -0,324                   | 0,043       | -3,22                   |

**Tabla 4.150.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de del polen de Brassicaceae en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1995-2015).

## 4.5.2.7. Discusión

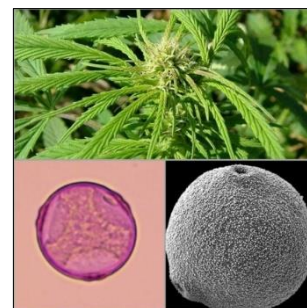
La familia Brassicaceae incluye numerosos géneros bien distribuidos por todo el mundo, especialmente en las regiones templadas del hemisferio norte (Trigo *et al.*, 2008). Las especies que poseen este tipo polínico son fundamentalmente entomófilas, aunque sus pólenes pueden pasar fácilmente a la atmósfera cuando las plantas son agitadas por el viento. Aparecen a menudo formando parte de comunidades nitrofilas, pero también pueden formar parte del matorral. Algunas especies presentan un interés económico en la alimentación humana, pudiendo ser sus cultivos una fuente de producción de proteína.

El índice polínico medio anual registrado durante el periodo analizado fue de 106, mientras que en otras localidades cercanas a la estación de muestreo aerobiológico, el índice polínico medio anual descrito para este tipo fue menor, con 58 en Estepona, 93 en Nerja, 7 en Vélez-Málaga (Recio *et al.*, 2006; Docampo, 2008; Trigo *et al.*, 2007). Por el contrario, resultó ser mayor en Antequera, con un valor de 151 (Recio *et al.*, 2000). Desde el punto de vista general, los registros presentan una tendencia a la disminución significativa en la atmósfera de Málaga, lo que puede estar relacionado con una mayor urbanización de las zonas circundantes a la ubicación del captador de polen y, por lo tanto, con una disminución de las áreas ruderalizadas, en donde estas especies son bastante comunes.

Si bien el polen de Brassicaceae presentan una baja incidencia en la atmósfera debido al tipo de polinización que presenta, ha sido descrito como alergógeno por Lewis *et al.* (1983). Aunque no se sabe mucho sobre el carácter alergénico de las especies de esta familia, a pesar de haberse citado en la bibliografía sensibilizaciones a *Brassica napus* L. (Couturier *et al.*, 1977; Focke *et al.*, 1998, 2003). Lewis *et al.* (1983) y Sell *et al.* (1993) citan como alergénico el polen de los géneros *Sisymbrium* y *Brassica*, respectivamente. Velázquez *et al.* (2001) han descrito hipersensibilidad al polen de *Diplotaxis virgata* (Cav.) DC. en algunos agricultores del sur de España. Más recientemente, Hermanides *et al.* (2006) encontraron que un 44% de pacientes, fundamentalmente empleados de empresas agrícolas dedicadas a la producción de coliflor, presentaron un resultado positivo a los tests cutáneos realizados con extractos de polen de *Brassica olearacea*.

#### 4.5.3. Tipo polínico *Cannabis*

Género de la familia Cannabaceae, representado por una sola especie *Cannabis sativa* L. Procede de Asia central y se encuentra introducida por el hombre en todo el mundo, aunque a veces puede aparecer como asilvestrada y subespontánea. Existen numerosas variedades de cultivo, ya que el cannabis se utiliza para la obtención de fibra textil (el cáñamo) pero también como planta forrajera, así como para la obtención de semillas (los cañamones) utilizadas en la alimentación de animales, especialmente aves. Otras variedades se utilizan para el cultivo de la “marihuana”, por su alto contenido en tetrahidrocannabinol (THC).



##### 4.5.3.1. Descripción botánica

Son hierbas anuales dioicas, con raíz pivotante, leñosa y blanquecina. Tallo cuadrangular, simple o con pocas ramas erectas y delgadas. Las hojas son alternas, palmeadas, profundamente divididas en folíolos estrechos de borde aserrado. Las inflorescencias masculinas son laxas y están dispuestas en las axilas de las hojas superiores, mientras que las femeninas lo hacen en compactos racimos también axilares. El fruto es un aquenio grisáceo, más o menos esférico de 2 a 4 mm de diámetro.

#### 4.5.3.2. Época de floración/ polinización

Florece de junio a septiembre, aunque en las regiones cálidas es posible que se produzca una floración más temprana. La polinización es anemófila, habiéndose utilizado los registros aerobiológicos para detección de cultivos clandestinos al aire libre.

#### 4.5.3.3. Morfología polínica

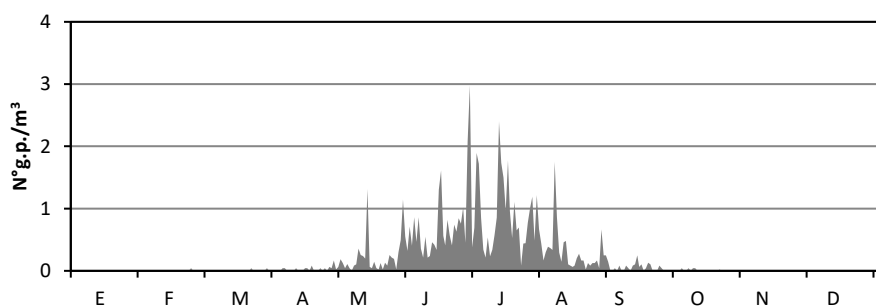
El polen es trizonoporado, a veces tetrazonoporado. Isopolar y radiosimétrico, de subtriangular a circular en visión polar y corte óptico ecuatorial, elíptico en visión ecuatorial y corte óptico meridiano, de suboblado a oblado. Tamaño de pequeño a mediano. Aberturas simples, de tipo poro, circulares o ligeramente elípticas, aspidados. Exina delgada, de casi 1  $\mu\text{m}$  de grosor, siendo algo más gruesa alrededor de las aberturas. Intina considerablemente más engrosada por debajo de los poros formando oncus. Superficie granulosa.

#### 4.5.3.4. Variación interanual

El polen de *Cannabis* presentó un índice polínico anual medio de 67, y una contribución al espectro polínico total de 0,20% en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015. Los índices polínicos de este tipo de polen presentaron un patrón poco estable, obteniéndose los mayores registros en los años 1998, 2011, 2012, 2013 y 2014 con valores de 123, 106, 122, 194 y 195, respectivamente. Por otra parte, se observa que los valores de los picos máximos diarios fueron bajos, oscilando entre un mínimo de 2 g.p./m<sup>3</sup> (año 1992, 1993) y un máximo de 38 g.p./m<sup>3</sup> (año 2013), siendo 13 g.p./m<sup>3</sup> el valor medio del máximo de las concentraciones medias diarias para este tipo de polen (Tabla. 4.151).

#### 4.5.3.5. Variación estacional

Al considerar el patrón medio de las concentraciones medias diarias de polen durante el periodo estudiado (1992-2015), se observa este polen se detecta en la atmósfera de Málaga a partir del mes de mayo, llegando a estar presente durante casi todo el verano, fundamentalmente hasta finales de agosto. La actividad polínica de *Cannabis* se caracterizó por presentar sus valores máximos generalmente a finales de junio (Fig. 4.207), pero el mes que presentó el mayor valor del índice polínico mensual ha sido julio, con un promedio anual de 25, seguido del mes de junio, con 22; agosto, con 9; y mayo, con 7. Fuera de estos meses las detecciones fueron muy esporádicas (Fig. 4.208).



**Figura 4.207.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Cannabis* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).



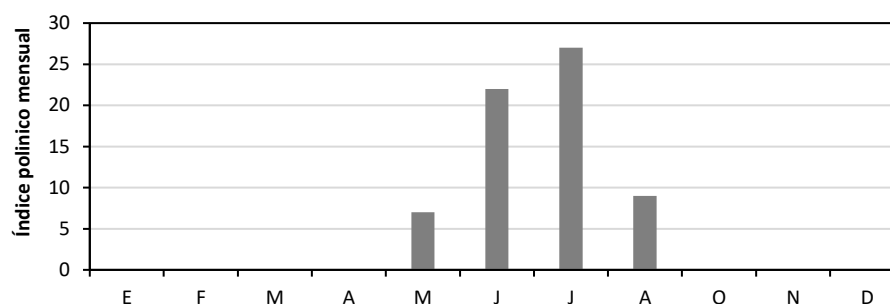


Figura 4.208. Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Cannabis* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 10  | 0,05    | 2  |
| 1993  | 17  | 0,05    | 2  |
| 1994  | 30  | 0,11    | 5  |
| 1995  | 21  | 0,10    | 3  |
| 1996  | 16  | 0,04    | 4  |
| 1997  | 24  | 0,04    | 11   |
| 1998  | 123 | 0,36    | 28   |
| 1999  | 55  | 0,12    | 20   |
| 2000  | 32  | 0,10    | 5  |
| 2001  | 41  | 0,09    | 13   |
| 2002  | 54  | 0,17    | 26   |
| 2003  | 66  | 0,17    | 11   |
| 2004  | 73  | 0,29    | 9  |
| 2005  | 40  | 0,13    | 5  |
| 2006  | 54  | 0,20    | 16   |
| 2007  | 61  | 0,13    | 12   |
| 2008  | 71  | 0,22    | 10   |
| 2009  | 99  | 0,24    | 17   |
| 2010  | 41  | 0,10    | 5  |
| 2011  | 106 | 0,38    | 25   |
| 2012  | 122 | 0,41    | 14   |
| 2013  | 194 | 0,47    | 38   |
| 2014  | 195 | 0,48    | 17   |
| 2015  | 67  | 0,22    | 6  |
| Media | 67  | 0,20    | 13   |

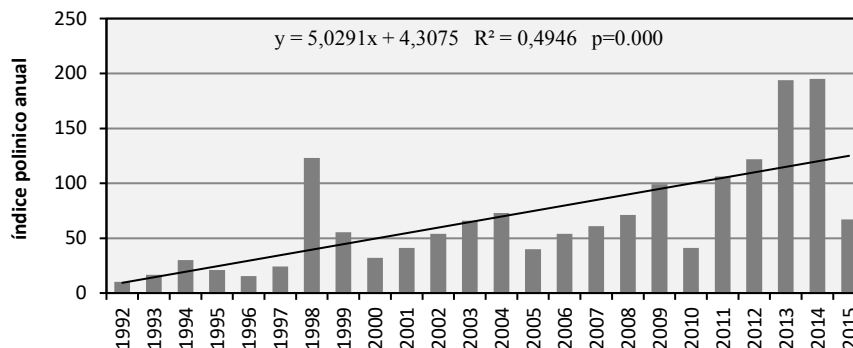
Tabla 4.151. Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Cannabis* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.3.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

El patrón descrito por los niveles de polen total anual de *Cannabis* a lo largo de los años estudiados, se caracteriza por presentar un perfil muy heterogéneo, en el que existen notables diferencias entre los índices polínicos anuales. Sin embargo, al tratar de analizar la evolución de los registros de este tipo mediante la prueba de regresión, se observó una tendencia positiva y estadísticamente

significativa al incremento de los niveles en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.209). Este coincide con los resultados de la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=0,640$ ;  $p<0,0001$ ). Por otra parte, la pendiente de *Sen* ha sido de signo positivo e igual a 4,60 (Tabla 4.152).



**Figura 4.209.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Cannabis* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |         | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|---------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.    | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,640             | <0,0001 | 4,60             |

**Table 4.152.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de del polen de *Cannabis* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.5.3.7. Discusión

El Cannabis o la marihuana es una de las más antiguas plantas conocidas por la humanidad. Se trata de una planta polinizada por el viento que produce centenares de flores dispuestas en grandes inflorescencias, con una elevada producción polínica, ya que una única flor produce unos 350.000 granos de polen (Faegri *et al.*, 1989). La importancia de estudiar la dispersión de este tipo polínico no es sólo para ayudar a controlar el cultivo ilícito, pero también para estimar la emisión de polen e informar la población sensible acerca de la incidencia alérgica que pudiera tener este polen (Sáenz, 1978; Lewis *et al.*, 1983), ya que en países como Pakistán (Sadiq *et al.*, 2007), India (Singh & Kumar, 2003) y regions del norte de America (Maloney & Brodkey, 1940; MacQuiddy, 1955; Freeman, 1983; Stokes *et al.*, 2000), Italia (Torre *et al.*, 2007), España (Mayoral *et al.*, 2008), forma parte de la flora alérgica. Por otra parte, Tanaka *et al.* (1998), aunque de forma discreta, ya empezaron a trabajar en el aislamiento y descripción de sus alérgenos, así que se ha descrito un banda de proteína de 10 kDa, correspondiente a la proteína de transeferencia de lípidos (LTP) como potencial alérgeno de *Cannabis sativa*.

Este polen aparece en casi todas las estaciones de monitorizaje del sur de España, como Cádiz (Candau *et al.*, 2002a), Nerja (Docampo, 2008), Antequera (Recio *et al.*, 2000) y Estepona (Toro *et al.*, 1997), Vélez-Málaga (Trigo *et al.*, 2007), Motril (Nieto-Lugilde, 2008). De modo similar, ya que se ha

puesto de manifiesto la existencia de este polen en trabajos 422revious realizados en Málaga (Recio *et al.*, 1998) con un índice polínico anual medio de 20. Sin embargo, y durante el periodo estudiado, éste alcanzó un valor medio de 67. En todas estas estaciones citadas previamente, este tipo se detectó en bajas concentraciones, pero de manera constante desde mayo hasta el final de septiembre. Esto coincide con la estación principal de polinación del *Cannabis* en el norte de África, al otro lado del estrecho de Gibraltar, tal como documentó Aboulaich *et al.* (2013).

Debido a la ausencia de cultivos de *Cannabis* en el sur de España y, después de un estudio de las trayectorias del viento que con frecuencia soplan del norte de África en dirección a la Península Ibérica, Cabezudo *et al.* (1997) concluyeron que la fuente de esos granos de polen eran las plantaciones del Rif marroquí. Por otro lado, la evolución de los registros de este polen en la atmósfera de Málaga muestra una tendencia significativa de aumento de los niveles durante el periodo (1992-2015), esto sugiere, un aumento de cultivo de *Cannabis* en Málaga, tal como se ha descrito por Alvarez *et al.* (2016). No obstante, el aumento de la superficie de cultivo de *Cannabis* en el territorio marroquí, ya que se ha sido documentado un aumento significativo del área ocupada por esta planta de +19% en Tetuán y +13% Chefchouen (Aboulaich *et al.*, 2013).

#### 4.5.4. Tipo polínico *Castanea*

Género perteneciente a la familia de Fagaceae, representado en Málaga por la especie *Castanea sativa* Mill. Este árbol tiene como origen los Balcanos, Asia Menor y el Caucaso, pero actualmente aparece en comunidades naturalizadas en toda la región mediterránea. El castaño se cultiva básicamente por sus frutos comestibles, las castañas, pero también su madera, que se utiliza para fabricar cubas y determinados instrumentos musicales.



##### 4.5.4.1. Descripción botánica

Son árboles monoicos, caducifolios, de gran porte que pueden alcanzar hasta 30 m de altura. Tiene las hojas muy grandes, en disposición alterna, de contorno largamente lanceolado y borde gruesamente aserrado. Las flores masculinas en amentos reunidos en grupos de 5 o 6 que se disponen en la axila de la bráctea, las femeninas con grupo de 3, dentro de una cúpula común acrescente, con 7-9 estilos.

##### 4.5.4.2. Época de floración/polinización

La floración se produce desde mayo a julio. La polinización es entomófila, aunque sus pólenes pueden ser fácilmente dispersados por el viento (anfífila).

##### 4.5.4.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado, isopolar, radiosimétrico. De circular a subcircular en visión polar, elíptico en visión ecuatorial. De subprolado a prolado. Tamaño pequeño. Sistema apertural compuesto; ectoaberturas de tipo colpo, terminales, endoaberturas de tipo poro, situadas en el ecuador. Membrana

apertural escábrida. La exina es fina, de 1-2  $\mu\text{m}$  de grosor, con la superficie finamente rugulada. La intina se encuentra más engrosada por debajo de las aberturas. El tectum es completo y el infractectum columelado.

#### 4.5.4.4. Variación interanual

El índice anual medio de *Castanea* ha sido 101, como promedio, en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015. Este polen representó el 0,30% del espectro polínico total, si bien que se obtuvo porcentaje superior al promedio, con 0,55% en 2012. Los registros anuales varían de un año a otro, ya que fueron mayores durante los años 2003 (160), 2012 (162) y 2007 (165) y alcanzaron un mínimo histórico en el año 2006 (26). Las concentraciones máximas diarias variaron entre un mínimo de 3 g.p./m<sup>3</sup> (año 1993) y un máximo de 53 g.p./m<sup>3</sup> (año 2003), siendo una media de 16 g.p./m<sup>3</sup> (Tabla 4.153).

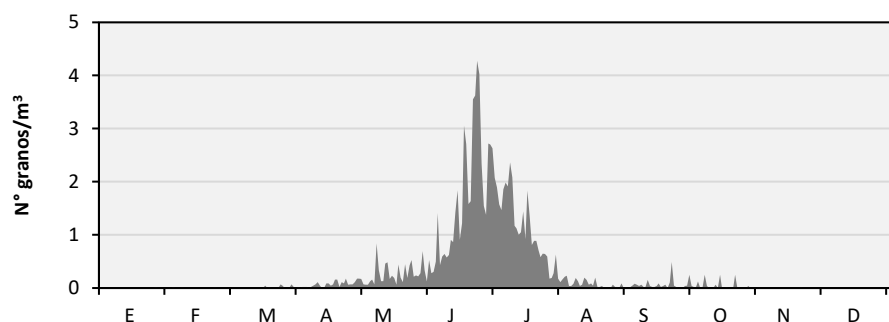
| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 33  | 0,15    | 5  |
| 1993  | 65  | 0,21    | 3  |
| 1994  | 92  | 0,34    | 19   |
| 1995  | 89  | 0,44    | 8  |
| 1996  | 161 | 0,38    | 12   |
| 1997  | 142 | 0,22    | 21   |
| 1998  | 59  | 0,17    | 4  |
| 1999  | 105 | 0,23    | 15   |
| 2000  | 79  | 0,24    | 9  |
| 2001  | 59  | 0,13    | 6  |
| 2002  | 38  | 0,12    | 10   |
| 2003  | 160 | 0,40    | 53   |
| 2004  | 108 | 0,43    | 28   |
| 2005  | 106 | 0,25    | 14   |
| 2006  | 26  | 0,10    | 6  |
| 2007  | 165 | 0,36    | 17   |
| 2008  | 123 | 0,38    | 16   |
| 2009  | 151 | 0,36    | 26   |
| 2010  | 122 | 0,30    | 23   |
| 2011  | 141 | 0,51    | 18   |
| 2012  | 162 | 0,55    | 24   |
| 2013  | 84  | 0,20    | 14   |
| 2014  | 101 | 0,25    | 10   |
| 2015  | 56  | 0,18    | 11   |
| Media | 101 | 0,30    | 16   |

**Tabla 4.153.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Castanea* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

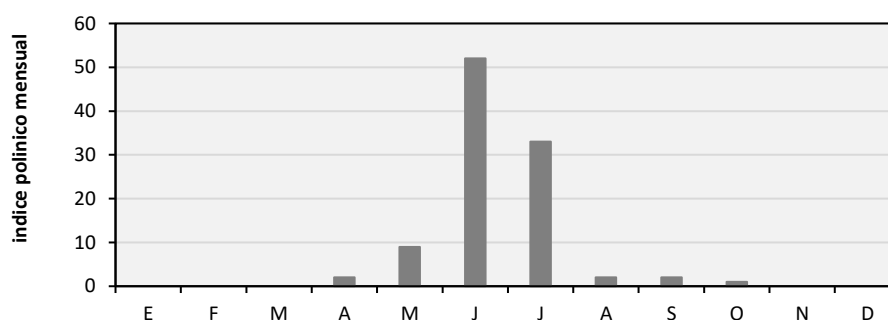
#### 4.5.4.5. Variación estacional

En la figura (4.210) se observa que los promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Castanea* en la atmósfera de Málaga fueron bajas ya que no superaron el valor de 4 granos de polen/m<sup>3</sup> en el mes de junio, el de mayor actividad polínica durante los años 1992-2015. Los meses de

mayor incidencia fueron prácticamente los meses estivales, ya que se observó un aumento de los registros en el mes de mayo, alcanzando los máximos índices polínicos mensuales promedio en el mes de junio (52) y también en julio con valores medios iguales a 33 (Fig. 4.211).



**Figura 4.210.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Castanea* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

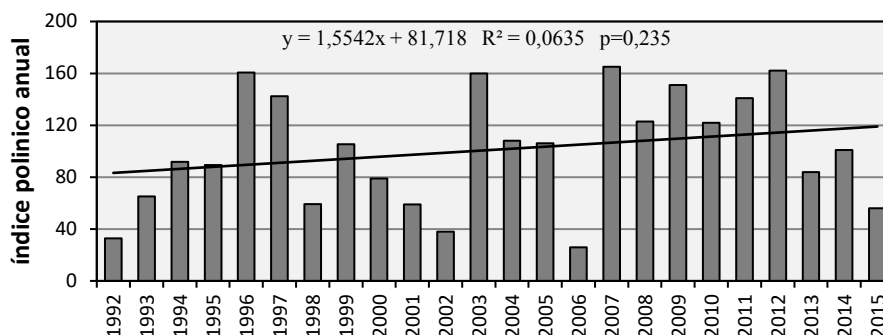


**Figura 4.211.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Castanea* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.4.6. Estudio de tendencia

- **Índice polínico anual**

En la figura (4.212) se observa el gráfico interanual de los IPAs del polen de *Castanea* durante los años analizados en la atmósfera de Málaga. Si bien que el comportamiento interanual es muy heterogéneo, se observa una tendencia de aumento, estadísticamente no significativa, tanto con el estudio de regresión como con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=0,145$ ;  $p=0,338$ ) (Tabla 4.154), durante el periodo (1992-2015). Por otra parte, el parámetro pendiente de *Sen*, presenta un valor positivo de 1,66.



**Figura 4.212.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Castanea* en la atmósfera de Málaga y tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,145             | 0,338 | 1,66             |

**Tabla 4.154.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de del polen de *Castanea* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.5.4.7. Discusión

El polen de *Castanea* se encuentra frecuentemente en el centro de Europa, y alcanza las mayores concentraciones en el mes de julio (Spieksma, 1991a; Spieksma & Frenguelli, 1991), registrándose índices polínicos medios de 1.452 en Trieste (Bicakci *et al.*, 1996; Rizzi-Longo *et al.*, 2007) y de 1.362 en Zagreb (Peternel *et al.*, 2003). En España, en un estudio sobre el tipo polínico *Castanea*, Iglesias *et al.* (1999), observaron que los mayores índices polínicos mensuales se registraron en el norte de la Península Ibérica, mientras que estos niveles se reducían considerablemente a medida que se desplazaban hacia el sur. Se han registrado índices polínicos anuales de 1000 en Santiago (Jato *et al.*, 2001a), 1.700 en Oviedo (Fernández-Casado *et al.*, 2002), 2349 en Ourense (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2005) y más de 3.500 en Ponferrada (Vega-Mary *et al.*, 2002b).

En Andalucía, los datos publicados muestran que los valores son menores debido a que los castaños son menos abundantes en las zonas de muestreo, lo que hace pensar que debido a su pequeño tamaño, el polen de castaño es fácilmente transportable por el viento a media y larga (García-Mozo *et al.*, 2006; Rizzi Longo & Sauli, 2010). En nuestra área de estudio, el índice polínico anual medio fue de 101, similar al detectado en Nerja (Docampo, 2008), sin embargo, menor al registrado en otras localidades cercanas como Antequera, 313 y Estepona, 320 (Recio *et al.*, 2000; Recio *et al.*, 2006).

En lo que se refiere a la evolución general de los registros del polen de *Castanea* en la atmósfera de Málaga, ésta presenta una tendencia positiva que refleja un aumento de los índices polínicos de este tipo durante los 24 años analizados. Este patrón puede ser debido al efecto positivo de la tendencia al aumento de las temperaturas, tal como ha sido puso de manifiesto por Rodríguez-Rajo *et al.* (2011) en la zona de Galicia. Además, probablemente, un aumento de la superficie dedicada al cultivo de castaña podría también ser la cause de este comportamiento, ya que este árbol es de interés económico (Astray *et al.*, 2016).

El polen de *Castanea* ha sido descrito como causante de polinosis debido a su capacidad alergénica moderada (Jäger & Litschaner, 1999; Cosmes Martín *et al.*, 2005). La alergia de tipo I al castaño representa una de las principales causas de polinosis en las zonas submediterráneas (Hirschwehr *et al.*, 1993) debido al alergeno Cas a 1 (Kos *et al.*, 1993). Por otra parte, este polen presenta reactividad cruzada con el polen de *Betula*, *Quercus*, *Fagus* y *Carpinus*, por lo que la polinosis causada por el polen de Castaño puede ser prolongada por la presencia de estos árboles como los que comparte reactividad cruzada (Jäger & Litschaner, 1999).

En los últimos años, en la parte noreste de la Península Ibérica se ha constatado un incremento en la reactividad positiva en pruebas de alergia (skin prick test), desde el 2-8% entre los pacientes con síntomas de alergia al polen de *Castanea* durante los años 90 (Arenas *et al.*, 1996; Belmonte *et al.*, 1998; Ferreiro *et al.*, 2002) hasta 17% de sensibilidad en el año 2000 (Aira *et al.*, 2000).

#### 4.5.5. Tipo polínico Cyperaceae

Familia de plantas que habitan generalmente en enbordes de ríos, lagunas y en suelos húmedos, siendo muy abundantes en la Vega del Guadalhorce, cerca de Málaga. Esta familia está representada en la provincia por varias especies de los géneros *Carex*, *Cyperus* y *Scirpus*, tales como *Carex hispida* Willd., *Cyperus rotundus* L., *Cyperus fuscus* L. y *Scirpus holoschoenus* L., entre otras. Se emplean como plantas ornamentales y en la alimentación, ya que algunas especies se cultivan por sus tubérculos comestibles que sirven para obtener una bebida refrescante o para extraer un aceite comestible, además en perfumería, arte de la cestería.



##### 4.5.5.1. Descripción botánica

Hierbas anuales o perennes, con tallos simples, trígono o cilíndricos. Hojas alternas, estrechas, envainantes. Flores hermafroditas o unisexuales, bracteadas. Las flores están dispuestas en pequeñas espigas, las cuales a su vez pueden agruparse en inflorescencias compuestas. Frutos en núcula.

##### 4.5.5.2. Epoca de floración/polinización

La floración se produce fundamentalmente desde mayo a julio, aunque a veces existen floraciones más tardías durante el otoño o el invierno. La polinización es anemófila.

##### 4.5.5.3. Morfología polínica

Polen anaporozonocolpado. Heteropolar y simetría radial. De circular a poliedrico en vista polar y con forma más o menos triangular en vista ecuatorial. De prolado a subprolado. Tamaño de mediano a grande. Aberturas simples de tipo poro o colpo, dispuestas estas últimas en la zona ecuatorial y pudiendo estar los poros dispuestos tanto en los polos como en el ecuador. Exina delgada de 1  $\mu\text{m}$  de grosor; intina más gruesa en el polo más estrecho del grano de polen. La superficie granulada-perforada.

## 4.5.5.4. Variación interanual

El polen de Cyperaceae representó el 0,32% del total anual, con un índice polínico anual medio de 107 durante el periodo estudiado (1992-2015). Los IPAs han ido oscilando entre 227, el de mayor valor (año 1992), y 34 el menor (año 2006) (Tabla 4.155). Los picos máximos detectados son bajos ya que varían entre un mínimo de 3 g.p./m<sup>3</sup> (año 2015) y un máximo de 20 g.p./m<sup>3</sup> (año 1993), caracterizándose por una media de 8 g.p./m<sup>3</sup>.

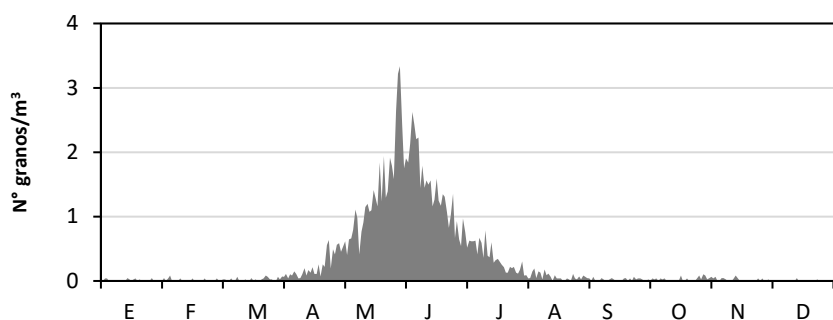
| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 227 | 1,03    | 17   |
| 1993  | 221 | 0,73    | 20   |
| 1994  | 153 | 0,56    | 9  |
| 1995  | 68  | 0,33    | 4  |
| 1996  | 126 | 0,30    | 11   |
| 1997  | 185 | 0,28    | 12   |
| 1998  | 181 | 0,53    | 11   |
| 1999  | 149 | 0,33    | 10   |
| 2000  | 84  | 0,26    | 12   |
| 2001  | 119 | 0,27    | 7  |
| 2002  | 111 | 0,36    | 15   |
| 2003  | 87  | 0,22    | 8  |
| 2004  | 79  | 0,31    | 4  |
| 2005  | 37  | 0,09    | 4  |
| 2006  | 34  | 0,13    | 4  |
| 2007  | 129 | 0,28    | 12   |
| 2008  | 92  | 0,29    | 4  |
| 2009  | 73  | 0,18    | 4  |
| 2010  | 110 | 0,27    | 6  |
| 2011  | 62  | 0,22    | 5  |
| 2012  | 80  | 0,27    | 10   |
| 2013  | 81  | 0,19    | 6  |
| 2014  | 49  | 0,12    | 4  |
| 2015  | 43  | 0,14    | 3  |
| Media | 107 | 0,32    | 8  |

**Tabla 4.155.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Cyperaceae* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

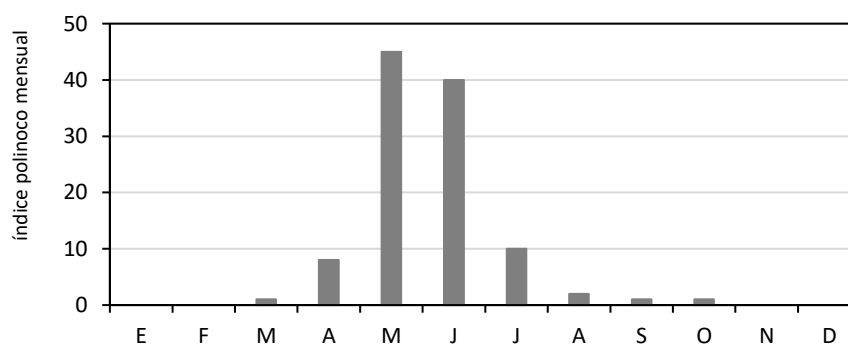


#### 4.5.5.5. Variación estacional

Durante el periodo (1992-2015), el polen de Cyperaceae se detectó durante la primavera con una marcada estacionalidad entre los meses de abril y julio, con concentraciones medias diarias muy bajas que no superan los 4 granos de polen/m<sup>3</sup> como promedio (Fig. 4.213). En cuanto a los índices polínicos mensuales, el valor máximo se registró en el mes de mayo con un valor medio de 45, seguido del mes de junio



**Figura 4.213.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de Cyperaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

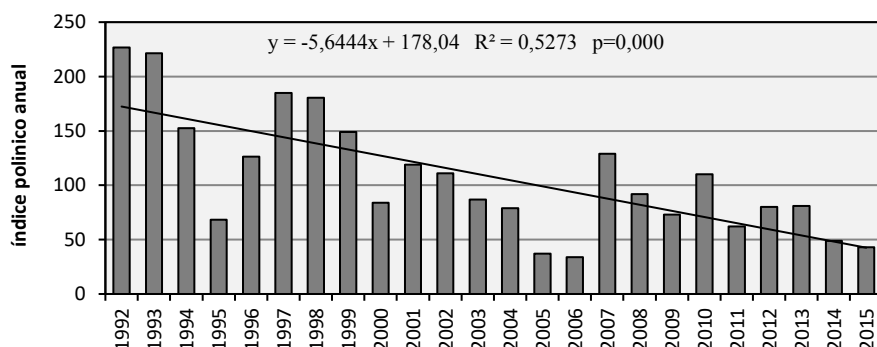


**Figura 4.214.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico Cyperaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.5.6. Estudio de tendencia

- **Índice polínico anual**

Los índices polínicos anuales de Cyperaceae muestran una tendencia negativa durante el periodo 1992-2015 y decrecen de manera significativa (Fig. 4.215). El descenso paulatino de los IPAs viene explicado tanto por la línea de tendencia como la prueba estadística de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,551$ ;  $p<0,0001$ ). La pendiente de *Sen* refleja esta disminución, con un valor igual a  $-5,74$  (Tabla 4.156).



**Figura 4.215.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de Cyperaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |         | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|---------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.    | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,551            | <0,0001 | -5,74            |

**Tabla 4.156.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de Cyperaceae en la atmósfera de Málaga usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1995-2015).

#### 4.5.5.7. Discusión

Las especies de esta familia suelen vivir en medios húmedos, lugares encharcados y cursos de agua, por lo que son relativamente abundantes en nuestra área de estudio, estando presente en las marismas del Guadalhorce, punto cercano a la estación de muestreo, lo que ha facilitado su presencia en la atmósfera de Málaga una incidencia polínica durante el periodo 1992-2015.

En muchos lugares, incluidas las zonas mediterráneas, el polen de Cyperaceae está escasamente representado en los espectros polínicos, apareciendo en cantidades no sólo muchos inferiores que otros taxones anemófilos, sino también en menor concentración que algunos taxones entomófilos cuya contribución al espectro polínico se considera esporádica. Por esta razón, no suele aparecer en los estudios aerobiológicos, a excepción de algunos lugares, por ejemplo, La Plata y Buenos Aires (Argentina) (Pérez *et al.*, 2001; Nitiu, 2004), o Berhampore y Calcuta (India) (Banik y Chanda 1992; Boral *et al.*, 2004), en los que la alta concentración de Cyperaceae conduce a que el polen de esta familia sea uno de los más frecuentes entre los tipos polínicos en esas localidades.

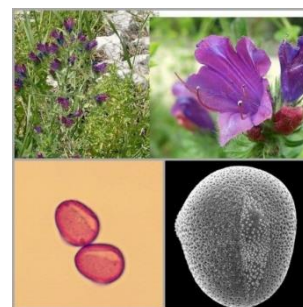
Generalmente, este polen aparece en toda la Península Ibérica, si bien con concentraciones bajas, con excepción de la zona de Extremadura donde se detecta los niveles más elevados (Paulino *et al.*, 2002; Muñoz Rodríguez *et al.*, 2007). En Galicia, los niveles son tan bajos que en algunos puntos no si quiera aparece (Hervés *et al.*, 2002; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2002). En el sur de la península, los índices polínicos anuales fueron 114 en Antequera (Recio *et al.*, 2000), 84 en Estepona (Recio *et al.*, 2006), 86 en Nerja (Docampo, 2008), cantidades similares a las detectadas en Málaga durante los años de estudio, si bien la evolución de los registros de este tipo polínico muestra una bajada significativa en nuestra zona. Este comportamiento puede estar relacionado con la disminución del nivel del agua, lo que causa un desequilibrio en el hábitat de esas especies. En este mismo sentido, Muñoz Rodríguez *et al.* (2007), en un estudio llevado a cabo en Badajoz, evaluaron el comportamiento de los registros anuales del polen

de Cyperaceae durante la serie temporal 1994-2003, llegando a la conclusión de que la lluvia prestacional, registrada en otoño, parecía ser responsable de la cantidad de polen de Cyperaceae presente en el aire, ya que se encontró que la falta de lluvia estaba asociada con menores concentraciones de este tipo polínico. Esto coincide con lo que hemos observado en nuestra localidad, y que la tendencia negativa de las cantidades de precipitaciones obtenidas en el mes de diciembre durante los años 1991-2015, podrían influir negativamente sobre el desarrollo de estas plantas.

En lo que se refiere a su potencial alergógeno, varios géneros de la familia como *Carex* y *Scirpus* han sido citados como causantes de síntomas de polinosis (Lewis *et al.*, 1983; Chakroborty *et al.*, 1998). Por otra parte, se mostró que la especie ornamental *Cyperus alternifolius* era causante de rinitis, clasificando su polen como causante de reacciones de alergia en pacientes atópicos (Bessot *et al.*, 1992). En un estudio llevado a cabo en Calcuta (India), el 35% de las personas atópicas mostraron reacción positiva en pruebas de alergenicidad (Skin-prick test) a extractos de polen de *Cyperus* (Mandal *et al.*, 2008).

#### 4.5.6. Tipo polínico *Echium*

El género *Echium* pertenece a la familia de Boraginaceae. Originario de Eurasia, se distribuye por el sur y oeste de Europa. Se trata de especies ruderales muy frecuentes en bordes de camino, escombreras y otros lugares nitrificados, aunque algunos forman parte del matorral. En Málaga, se encuentran fundamentalmente *Echium plantagineum* L., *E. creticum* L., *E. boissieri* Steudel y *E. albicans* Lag. & Rodr. Diversas especies de este género pueden utilizarse como plantas forrajeras.



##### 4.5.6.1. Descripción bótanic

Son plantas herbáceas, anuales o perennes, a veces subarborescentes, híspidas, con hojas simples y alternas. Flores zigomorfas, dispuestas en grandes inflorescencias bracteadas. Cáliz dividido casi hasta la base, caduco o persistente. Corola infundibuliforme, ligeramente pelosa. Estambres 5, insertos a distintas alturas del tubo de la corola, con filamentos de distinta longitud. Estigama bifido o bilobado. El fruto es una tetranúcula.

##### 4.5.6.2. Época de floración/polinización

La floración se extiende entre los meses de mayo a julio. La polinización es entomófila, pero debido al pequeño tamaño del polen y a los estambres exsertos de las flores de estas especies, los granos son transportados frecuentemente por el viento.

##### 4.5.6.3. Morfología polínica

Polen 3-zonocolporado, heteropolar con simetría radial. De circular a subtriangular en vista polar, planaberturado, y periforme en vista ecuatorial. De subprolado a prolado. Tamaño pequeño a mediano, entre 12 y 25  $\mu\text{m}$  de eje polar. Ectoaberturas de tipo colpo; endoaberturas de tipo poro. Membrana

apertural granulosa. Exina de 1µm de grosor. Tectuma parcial e infratectum columelado, con la superficie de perforada a microreticulada.

#### 4.5.6.4. Variación interanual

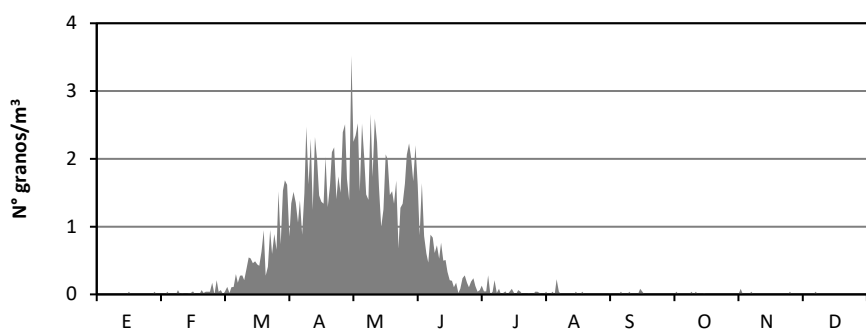
Aunque este polen representó sólo el 0,40% del espectro polínico total en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015, se observaron porcentajes mayores al promedio, superando el incluso el 1% 2002 y 2013 (Tabla 4.157). Los IPAs fueron variable de un año a otro, oscilando entre un mínimo de 25 (año 1999) y un máximo 440 (año 2013). A pesar de su carácter entomófilo, el pico máximo diario medio fue de 8 g.p./m<sup>3</sup> oscilando entre un mínimo de 2 g.p./m<sup>3</sup> (año 1992) y un máximo de 30 g.p./m<sup>3</sup> (año 2013).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 45  | 0,20    | 2  |
| 1993  | 137 | 0,45    | 9  |
| 1994  | 66  | 0,24    | 5  |
| 1995  | 47  | 0,23    | 6  |
| 1996  | 208 | 0,49    | 10   |
| 1997  | 89  | 0,14    | 4  |
| 1998  | 257 | 0,75    | 13   |
| 1999  | 25  | 0,05    | 5  |
| 2000  | 136 | 0,42    | 11   |
| 2001  | 63  | 0,14    | 8  |
| 2002  | 343 | 1,10    | 24   |
| 2003  | 43  | 0,11    | 8  |
| 2004  | 107 | 0,42    | 11   |
| 2005  | 44  | 0,10    | 4  |
| 2006  | 259 | 0,96    | 25   |
| 2007  | 101 | 0,22    | 6  |
| 2008  | 183 | 0,57    | 15   |
| 2009  | 182 | 0,44    | 8  |
| 2010  | 211 | 0,52    | 17   |
| 2011  | 89  | 0,32    | 8  |
| 2012  | 57  | 0,19    | 5  |
| 2013  | 440 | 1,06    | 30   |
| 2014  | 27  | 0,07    | 3  |
| 2015  | 205 | 0,68    | 10   |
| Media | 140 | 0,41    | 10   |

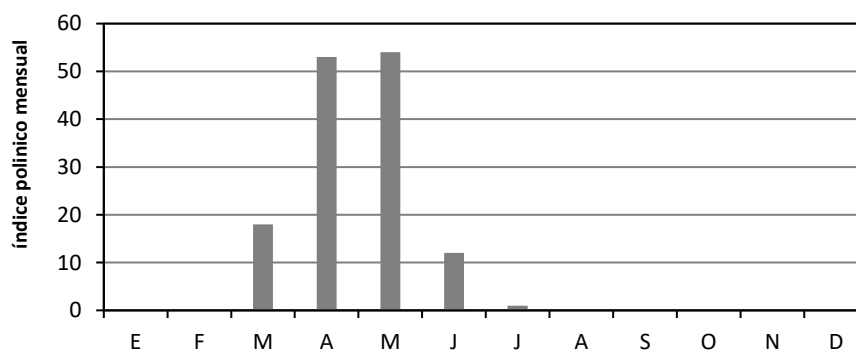
**Tabla 4.157.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Echium* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.6.5. Variación estacional

El patrón promedio de las concentraciones medias diarias muestra que este polen se detecta en la atmósfera de Málaga fundamentalmente durante la primavera, con picos máximos en los meses de abril y mayo, si bien, estos valores promedios muy bajos, ya que sólo alcanzan 3 g.p./m<sup>3</sup> como máximo (Fig. 4.216). El mayor valor del índice polínico mensual medio se registra en mayo con un valor de 54, aunque este es similar al el mes de abril, con un valor de 53, como media del periodo 1992-2015 (Fig. 4.217).



**Figura 4.216.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Echium* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

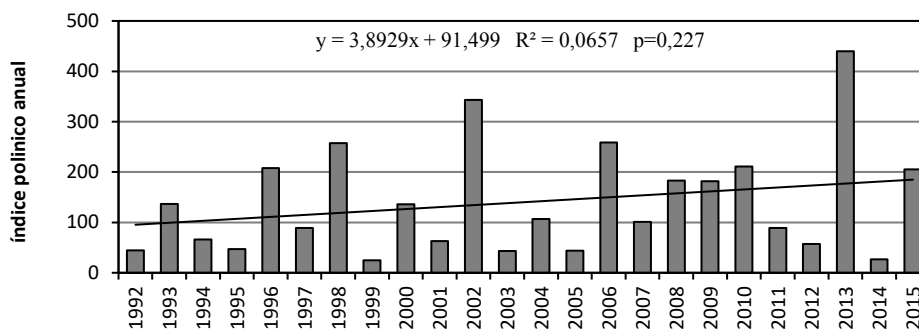


**Figura 4.217.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Echium* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.6.6. Estudio de tendencia

- **Índice polínico anual**

La dinámica del polen de *Echium* en la atmósfera de Málaga muestra que, si bien existen variación interanual en los IPAs, aparece una tendencia positiva, aunque estadísticamente no significativa según la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=0,123$ ;  $p=0,418$ ) (Tabla 4.158), así como el análisis de regresión (Fig. 4.218). Esto explica un aumento de los registros de este tipo polínico a lo largo de los 24 años analizados. La pendiente de *Sen* confirma este comportamiento, con un valor positivo igual a 2,61.



**Figura 4.218.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Echium* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,123             | 0,418 | 2,61             |

**Tabla 4.158.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Echium* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.5.6.7. Discusión

Si bien que es un taxón típicamente entomófilo, sus granos polen de pequeño tamaño y poco peso, unidos a su elevada producción polínica, hacen que el polen de este género pueda pasar con cierta facilidad a la atmósfera por efecto de turbelencias y corrientes de aire, lo que explica su detección en los nuestros aerobiológicos (Salvador de Luna & Sánchez-Sánchez, 1990; García-Mozo *et al.*, 2007).

En los estudios aerbiológicos realizados en otras localidades españolas, el polen de *Echium* representa siempre menos del 1% del espectro polínico total. Sin embargo, en las localidades de Estepona y Vélez de Málaga, este tipo polínico llegó a alcanzar el mayor valor hasta ahora publicado, con el 0,96% de representación del polen total (Cabezudo *et al.*, 1998), tal como se observó en nuestra área de estudio con un porcentaje similar en el año 2006 (0,96%), y superior a 1% registrado en los años 2002 (1,10%) y 2013 (1,06%).

En lo que se refiere a los niveles polínicos detectados en nuestra área de estudio, éstos son precidos a los de otros puntos de muestros cercanos del sur de la Península Ibérica, tales como Estepona (Toro *et al.*, 1997), Nerja (Docampo, 2008), Vélez de Málaga (Trigo *et al.*, 2007), Cáceres (Moreno *et al.*, 1998a), localides que se sitúan entre las que registran los mayores niveles de *Echium* en España, siendo superados tan sólo por las provincias extremeñas (Muñoz *et al.*, 2005).

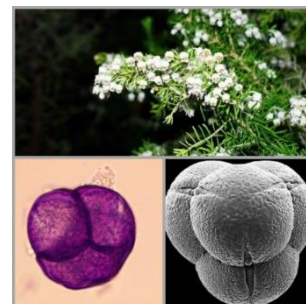
El tipo polínico *Echium* aparece de forma generalmente permanente en la atmósfera de Málaga durante los años estudiados mostrándose una evolución positiva de los registros polínicos, a pesar de que existen grandes diferencias interanuales. Un comportamiento similar ha sido destacado por Docampo (2008) en Nerja, Muñoz *et al.* (2005) en Extremadura, Rodríguez de la Cruz *et al.* (2012) en Salamanca. Las variaciones internuales observadas en nuestra área de estudio podrían estar relacionados con las variaciones meteorológicas determinantes del mayor o menor desarrollo de estas

especies. Asimismo, en un trabajo realizado por Muñoz *et al.* (2005) analizando el comportamiento del polen de *Echium* de Extremadura durante los años 1994-1998, se ha descrito que las lluvias de otoño, en particular las de noviembre, favorecería del desarrollo de estas plantas.

La capacidad alérgica de tipo polínico ha sido descrita sobre todo en referencia a la especie *Echium plantagineum* L., en Sidney (Katelaris *et al.*, 1982; Matthews *et al.*, 1988).

#### 4.5.7. Tipo polínico Ericaceae

Ericaceae es una familia que agrupa unos 100 géneros y alrededor de 3.000 especies distribuidas en todo el mundo, pero fundamentalmente en la región de Himalaya, Nueva Zelanda y sur de África. Viven en suelos ácidos y pobres y suelen presentar micorrizas. Muchas especies de ericáceas son utilizadas en medicina natural y además como plantas ornamentales. Las especies más frecuentes en la provincia de Málaga son *Erica arborea* L., *Erica australis* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Arbutus unedo* L., *Rhododendrum baeticum* Boiss. ex Reuter.



##### 4.5.7.1. Descripción botánica

Se trata de árboles o arbustos de hojas simples, persistentes sin estípulas. Flores hermafroditas, que se encuentran dispuestas en inflorescencias umbeliformes o racemiformes, con los sépalos libres o soldados en la base, a veces coloreados; y la corola acampanada, urceolada o tubular, con 4 pétalos unidos. Los estambres son exertos y se encuentran en número doble que los pétalos. El fruto suele ser de tipo capsular, aunque a veces es carnoso en algunas especies.

##### 4.5.7.2. Época de floración/polinización

La mayoría de las especies florecen en primavera, si bien hasta el otoño se pueden encontrar plantas en flor. La polinización es anfílila, realizándose primero de forma entomófila, para luego extenderse los filamentos estaminales, que se hacen exertos, presentando entonces una polinización secundariamente anemófila.

##### 4.5.7.3. Morfología polínica

Trizonocolporado, presentándose en el aire en tétradas de tamaño mediano a grande. Ectoaberturas de tipo colpo, afectando a los granos contiguos; endoaberturas de tipo poro, lalongadas., situada en la zona de contacto de cada dos granos de polen, por lo que la tétrada parece recorrida por un surco de arriba abajo. Membrana apertural granulada. Exina de 1,5  $\mu\text{m}$  de grosor, con sexina y nexina difíciles de distinguir. Téctum completo, infractectum en apariencia sin columelas o ligeramente columelado. Superficie psilado-punteada.

#### 4.5.7.4. Variación interanual

En la tabla 4.159, se observa la evolución de los índices polínicos anuales del tipo Ericaceae durante el periodo 1992-2105. Este polen contribuyó con un 0,28 al polen total de la atmósfera de Málaga. Los registros obtenidos han sido entre 8 (año 2006) y 396 (año 2005), siendo 81 el valor medio de los IPAs. Las concentraciones máximas diarias fueron bajas con 22 g.p./m<sup>3</sup> de media, excepto al año 2005 ya que se obtuvo un pico máximo igual a 180 granos de polen/m<sup>3</sup>.

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 31  | 0,14    | 6  |
| 1993  | 139 | 0,46    | 29   |
| 1994  | 40  | 0,15    | 12   |
| 1995  | 62  | 0,30    | 20   |
| 1996  | 27  | 0,06    | 6  |
| 1997  | 110 | 0,17    | 16   |
| 1998  | 31  | 0,09    | 5  |
| 1999  | 107 | 0,23    | 20   |
| 2000  | 25  | 0,08    | 3  |
| 2001  | 122 | 0,28    | 9  |
| 2002  | 57  | 0,18    | 10   |
| 2003  | 80  | 0,20    | 30   |
| 2004  | 26  | 0,10    | 2  |
| 2005  | 396 | 0,92    | 180  |
| 2006  | 8   | 0,03    | 4  |
| 2007  | 208 | 0,45    | 52   |
| 2008  | 30  | 0,09    | 5  |
| 2009  | 145 | 0,35    | 39   |
| 2010  | 24  | 0,06    | 3  |
| 2011  | 79  | 0,28    | 38   |
| 2012  | 17  | 0,06    | 4  |
| 2013  | 59  | 0,14    | 10   |
| 2014  | 60  | 0,15    | 5  |
| 2015  | 54  | 0,18    | 24   |
| Media | 81  | 0,24    | 22   |

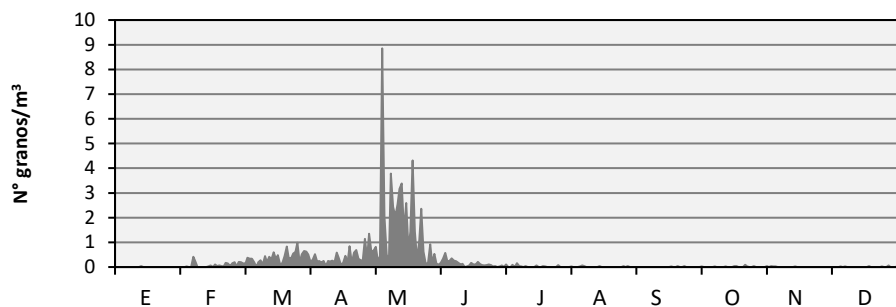
**Tabla 4.159.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico Ericaceae en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.7.5. Variación estacional

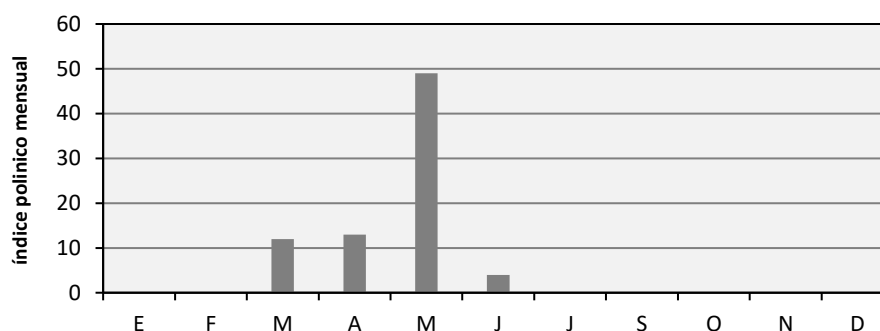
El polen de Ericaceae se detecta principalmente desde principios de febrero hasta finales de junio, registrándose varios picos de diferente intensidad, si bien las mayores concentraciones tienen lugar en el mes de mayo. El resto de los meses aparece de forma esporádica (Fig. 4.219).

Generalmente, durante el periodo analizado (1992-2015), los índices polínicos mensuales más elevados se registraron en los meses primaverales, con cantidades máximas en mayo, con un valor de 49 como media. En los meses de marzo, abril y junio, los índices fueron de 12,13 y 4, respectivamente, como promedio (Fig. 4.224).





**Figura 4.219.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de Ericaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

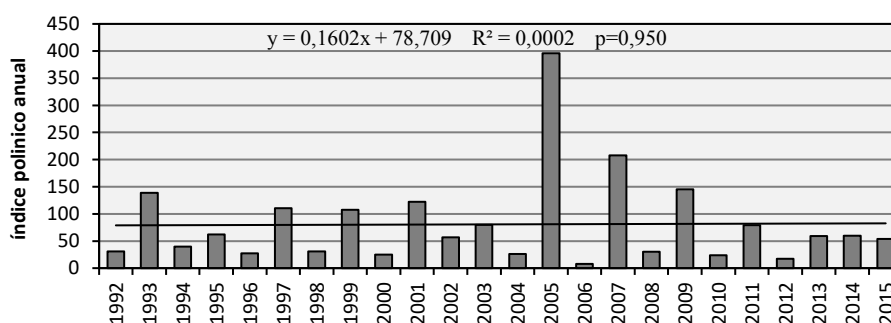


**Figura 4.220.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico Ericaceae en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.7.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

En la figura 4.221 se muestra los índices polínicos anuales de Ericaceae, observándose que aparecen grandes variaciones de un año a otro, lo que indica una incidencia muy irregular de este tipo polínico en nuestra área de estudio. La línea de tendencia de los IPAs de Ericaceae en la atmósfera de Málaga indica que no se puede distinguir una tendencia clara positiva, aunque ésta se muestra negativa y estadísticamente no significativa según el estudio de regresión y la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,072$ ;  $p=0,642$ ) (Tabla 4.160). La pendiente de *Sen* confirma este comportamiento, con un valor negativo igual a  $-0,48$ . Esto explica que no se puede caracterizar un comportamiento definido de los registros de este tipo polínico a lo largo de los 24 años analizados.



**Figura 4.221.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de Ericaceae en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,072            | 0,642 | -0,48            |

**Tabla 4.160.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de Ericaceae en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.5.7.7. Discusión

Las ericáceas son arbustos o pequeños árboles que forman poblaciones típicas del matorral mediterráneo sobre todo suelo ácido. Las poblaciones más cercanas se encuentran en los Montes de Málaga, si bien que son más frecuentes en la zona occidental y noroccidental de la provincia.

Durante el periodo analizado, el índice polínico medio fue de 80, con un patrón poco estable en los niveles polínicos anuales. Este comportamiento ha sido detectado en otros puntos de muestreo como Nerja (Docampo, 2008), Antequera y Estepona (Recio *et al.*, 2000; 2006) y Vélez de Málaga (Trigo *et al.*, 2007). Las variaciones anuales de la concentración de polen de Ericaceae en la atmósfera de Málaga se deben a que su presencia depende en gran medida de la influencia que ejercen los parámetros climáticos, sobre todo la dirección del viento. De hecho, en un trabajo previo llevado a cabo en la misma localidad, Melgar (2010), explicó que las concentraciones de polen de Ericaceae se incrementarían cuando el viento soplará en dirección noreste, procediendo éste de los Montes de Málaga. Además, estas plantas presentan una polinización anfílita, mostrándose inicialmente entomófila pero mediante la extensión de los filamentos estaminales, que se elongan hasta que las anteras se hacen exertas, pasa entonces a ser finalmente anemófila (Lewis *et al.*, 1983). Por otra parte, sus granos de polen poseen unas características que dificultan su permanencia y transporte en el aire, puesto que se reúnen en tétrades de tamaño mediano a grande (Aira *et al.*, 2005), de ahí que las concentraciones detectadas no sean muy elevadas.

De forma general, a este tipo polínico no suelo dar importancia desde el punto de vista alergológico, debido a sus bajos niveles atmosféricos. Sin embargo, algunos de sus géneros han sido descritos por varios autores como causante de polinosis como *Erica* (Sáenz, 1978; Domínguez *et al.*, 1984), *Calluna* (Halse, 1984) y *Rhododendron* (Lewis *et al.*, 1983; Osvath, 1991), destacando la alta alergenicidad al polen de *Erica arborea* en Estambul incluso a bajas concentraciones polínicas atmosféricas (Aytug & Güven, 1991).

#### 4.5.8. Tipo polínico *Fraxinus*

Género de la familia de *Oleacea*, integrado por unas 60 especies distribuidas principalmente por el Hemisferio Norte. En Europa forman parte de la vegetación natural y también de la flora ornamental. En el área de estudio se distinguen dos especies *Fraxinus angustifolia* Vahl. junto con *Fraxinus pensylvanica* Marshall.



##### 4.5.8.1. Descripción botánica

Son árboles de 20-30 m de altura, caducifolios con hojas opuestas, compuestas, imparipinnadas, con 7-13 foliolos laceolados. Flores pequeñas, hermafroditas, sin cáliz ni corola, agrupadas en densos racimos laterales y opuestos. 2 estambres con filamentos muy cortos. Gineceo bicarplar, ovario súpero. Fruto de tipo sámara, oblongo-lanceoladas.

##### 4.5.8.2. Época de floración/polinización

Florece durante el invierno e inicios de la primavera, de diciembre a marzo. La polinización es típicamente anemófila.

##### 4.5.8.3. Morfología polínica

El grano de polen es trizonocolpado, a veces tetrazonocolpado. Isopolar y radiosimétrico. De circular a cuadrangular en vista polar, de circular a elíptico en vista ecutorial. De suboblado a prolado. Tamaño de pequeño a mediano, de 15 a 35  $\mu\text{m}$  de eje polar, y el diámetro ecuatorial de 10 a 27  $\mu\text{m}$ . Aberturas simples de tipo colpo, con la intina engrosada formando oncus por debajo de las mismas y la membrana apertural psilada. Exina de 1,5 a 2  $\mu\text{m}$  de grosor, de superficie finamente reticulada, con lúmenes irregulares en tamaño y distribución. Téctum parcial e infratéctum columelado.

##### 4.5.8.4. Variación interanual

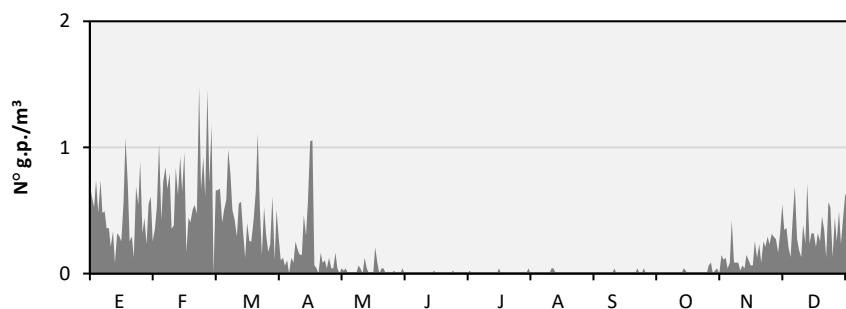
Este polen se caracterizó por no alcanzar cantidades considerables ya que tuvo un índice polínico media de 74 durante el periodo 1992-2015, representando el 0,22% del espectro polínico total. Los IPAs variaron considerablemente respecto al valor medio, ya que en los años 1992, 1993 y 1996 se obtuvieron los registros bajos con 8, 22 y 25 respectivamente, mientras los más elevados superando los 100, se detectaron en los años 1995 (104), 2007 (132), 2014 (107), 2015 (104), alcanzado el máximo histórico con IPA anual igual a 181 en 2011. Las concentraciones máximas diarias detectadas en Málaga fueron bajas, ya que oscilaron entre un mínimo de 1 granos de polen/ $\text{m}^3$  y un máximo de 24 g.p./ $\text{m}^3$ , resultando un pico máximo diario medio de 8 g.p./ $\text{m}^3$  (Tabla 4.161).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 8   | 0,03    | 1  |
| 1993  | 22  | 0,07    | 3  |
| 1994  | 41  | 0,15    | 4  |
| 1995  | 104 | 0,51    | 24   |
| 1996  | 25  | 0,06    | 2  |
| 1997  | 77  | 0,12    | 5  |
| 1998  | 30  | 0,09    | 3  |
| 1999  | 75  | 0,16    | 5  |
| 2000  | 69  | 0,21    | 8  |
| 2001  | 73  | 0,17    | 10   |
| 2002  | 61  | 0,20    | 15   |
| 2003  | 91  | 0,23    | 15   |
| 2004  | 75  | 0,30    | 9  |
| 2005  | 66  | 0,15    | 10   |
| 2006  | 45  | 0,17    | 4  |
| 2007  | 132 | 0,28    | 9  |
| 2008  | 66  | 0,21    | 8  |
| 2009  | 84  | 0,20    | 8  |
| 2010  | 78  | 0,19    | 5  |
| 2011  | 181 | 0,65    | 10   |
| 2012  | 87  | 0,30    | 8  |
| 2013  | 77  | 0,19    | 7  |
| 2014  | 107 | 0,26    | 10   |
| 2015  | 104 | 0,34    | 14   |
| Media | 74  | 0,22    | 8  |

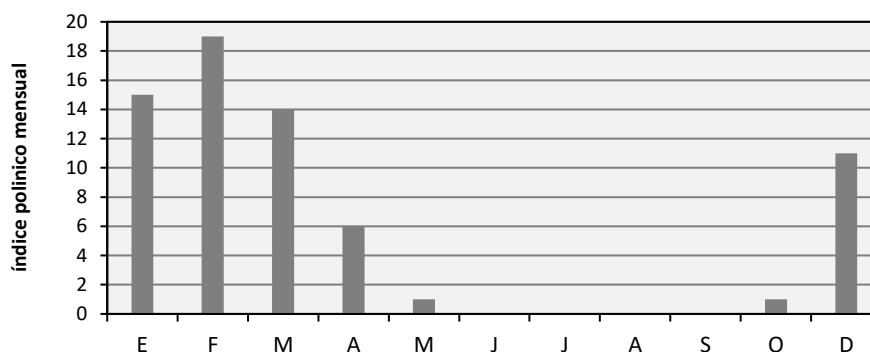
**Tabla 4.161.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Fraxinus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.8.5. Variación estacional

El análisis de la distribución de las concentraciones medias diarias del tipo polínico *Fraxinus* revela que el polen apareció en la atmósfera de Málaga durante un periodo prolongado, si bien de forma esporádica, desde noviembre hasta finales de abril (Fig. 4.222). Los mayores índices polínicos mensuales se registraron en el mes de febrero con 19 como valor medio sino también en los meses de diciembre, enero y marzo, que se contabilizaron índices polínicos mensuales medios de 11, 15 y 14, respectivamente, durante el periodo estudiado (1992-2015) (Fig. 4.223).



**Figura 4.222.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Fraxinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

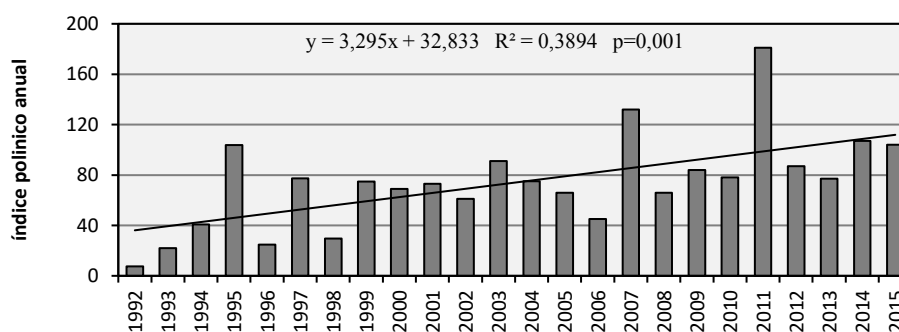


**Figura 4.223.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Fraxinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.8.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

En la figura 4.224 se observa la tendencia de los índices polínicos anuales del polen de *Fraxinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015. La ecuación de regresión indica una tendencia significativa y positiva, es decir, al incremento de las concentraciones de polen durante los años de estudio, con un valor de  $p$  igual a 0,001. Este resultado viene confirmado por la prueba no paramétrica del test *Mann-Kendall* ( $Z=0,483$ ;  $p=0,001$ ). Por otra parte, la pendiente de *Sen* también refleja este mismo comportamiento, con un valor positivo igual a 3,11.



**Figura 4.224.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Fraxinus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,483             | 0,001 | 3,11             |

**Tabla 4.162.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Fraxinus* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

### 4.5.8.7. Discusión

El género de *Fraxinus* se encuentra representado en toda Europa, ya sus granos de polen aparecen en los muestreos aerobiológicos de toda la Península Ibérica.

En la atmósfera de Málaga, los índices polínicos anuales del polen de *Fraxinus* fueron bajos presentándose diferencias interanuales, con 74 como índice polínico anual medio durante el periodo 1992-2015. Esto es debido a que se trata de plantas poco frecuentes en los alrededores de la estación de muestreo, ya que las mayores agrupaciones se sitúan en la parte más occidental de la provincia malagueña y algunos ejemplares autóctonos se localizan dispersos por los márgenes de los ríos cercanos a la localidad. En localidades cercanas a Málaga capital, con entornos más rurales, se observaron índices polínicos anuales medios fueron similares, como en Antequera (Recio *et al.*, 2000) y Estepona (Recio *et al.*, 2006) con valores de 234 y 93, respectivamente, pero menor con sólo un valor 30 en Vélez-Málaga (Trigo *et al.*, 2007).

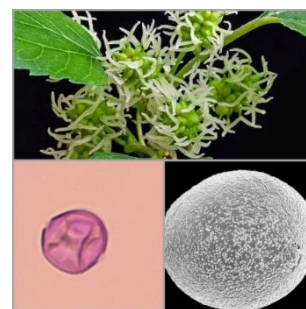
En otras provincias andaluzas como Córdoba y Granada (Gálan *et al.*, 2016) se registran niveles más elevados con 234 y 93, respectivamente. Sin embargo, en el resto de la Península, los índices polínicos más altos se observan en las zonas más húmedas superando los 1.000, fundamentalmente en Cataluña (Belmonte *et al.*, 2002a), Madrid (Gutiérrez Bustillo *et al.*, 2002), mientras en el sureste árido, la incidencia de este polen fue baja (Sabriero *et al.*, 2002; Cariñanos *et al.*, 2002b; Moreno Grau *et al.*, 2002; Vara *et al.*, 2016).

A la vista del patrón obtenido de los registros de polen de *Fraxinus*, se puede observar que hubo incremento significativo de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga. Un comportamiento similar ha sido observado en otras localidades como Córdoba, Granada y Badajoz (Gálan *et al.*, 2016). En el caso de Málaga, los pólenes podrían haber sido transportados a media distancia desde la zona oeste de la provincia ya que, en trabajo llevado a cabo en la misma localidad (Melgar, 2010), se recoge que el régimen de vientos, fundamentalmente el tercer y cuarto cuadrante, favorece el incremento de las concentraciones de este tipo de polen, al tiempo que el aumento de la velocidad media del viento favorece su dispersión, hecho que ha sido comentado previamente al analizar el comportamiento de los vientos en nuestra localidad, detectándose un incremento significativo tanto en la velocidad media del viento como del porcentaje del viento del tercer cuadrante durante el periodo estudiado (Fig. 4.12)

El polen de *Fraxinus* ha sido citado como agente alergénico por Eriksson (1978) y Domínguez *et al.* (1984) en la zona mediterránea, habiéndose descrito la existencia de reactividad cruzada entre las proteínas alergénicas del polen de algunas Oleáceas como *Olea*, *Fraxinus* y *Ligustrum* (Bousquet *et al.*, 1985; Obispo *et al.*, 1993; Subiza *et al.*, 1998; Conde *et al.*, 2002; Vara *et al.*, 2016), por lo que resulta que los pacientes alérgicos al olivo presentan síntomas semanas antes de la floración de este árbol, coincidiendo con la floración de las distintas especies de fresno. En Suiza, Gehrig & Peters (2000) consideraron que 100 granos de polen/m<sup>3</sup> sería la concentración umbral a partir de la cual se pueden destacar reacciones alérgicas. En cambio, en Málaga, aunque su incidencia es baja, se ha detectado un 20% de pacientes alérgicos a extractos de polen de *Fraxinus* (Burgos, 1991), dentro de la población atópica.

#### 4.5.9. Tipo polínico *Morus*

*Morus* es un género incluido en la familia de Moraceae, originario del centro y este de Asia. En Málaga, está representado por dos especies *Morus alba* L., que se cultiva para el empleo de sus hojas en la alimentación de los gusanos de seda y en jardinería, y *Morus nigra* L. cultivada tanto para uso en jardinería como para el aprovechamiento de sus frutos. Otras especies que se cultivan ocasionalmente como ornamental es *Brousonetia papyrifera* (L.) Vent., usándose a veces su madera para trabajos de tornería, y las ramas para hacer cestos.



##### 4.5.9.1. Descripción botánica

Son árboles caducifolios de tamaño medio, que no suele superar los 12 ó 15 m de altura. Hojas alternas, ovadas y de margen dentado, a veces lobulados en algunas variedades. Monoicos. Las flores son unisexuales y se agrupan en espigas tanto en el caso de las femeninas como de las masculinas. Los frutos, se presentan agregados en ‘‘mora’’ o sorosis, siendo blanquecinos o violáceos, formando una infrutescencia especial integrada por los verdaderos frutos rodeados de un perianto carnoso.

##### 4.5.9.2. Época floración/polinización

La floración se produce desde febrero a mayo. La polinización es típicamente anemófila.

##### 4.5.9.3. Morfología polínica

Polen 2-3 zonoporado, isopolar, con simetría radial. Más o menos esféricos circulares en corte óptico. Tamaño pequeño. Aberturas simples de tipo poro, generalmente opuestas cuando son 2, de aproximadamente de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro, con opérculo granuloso. Exina delgada de 0,6-1  $\mu\text{m}$  de grosor, con sexina algo más gruesa que la nexina. Téctum completo e infratéctum con columelas apenas marcadas. Intina engrosada por debajo de las aberturas. Superficie granulada.

##### 4.5.9.4. Variación interanual

Este tipo polínico obtuvo un índice polínico medio de 45, representado el 0,13% del espectro total en la atmósfera de Málaga, si bien la aportación fue variando entre los 0,05% y 0,30% durante el periodo estudiado (Tabla 4.163). El polen de *Morus* presentó diferencias interanuales, ya que los índices polínicos anuales oscilaron entre un mínimo de 8, registrado en el año 2004, y un máximo de 91, en los años 2013 y 2015. Las concentraciones medias diarias máximas presentaron valores muy bajos ya que, en general, no superaron los 7 granos de polen/ $\text{m}^3$ , media obtenida durante 1992-2015, excepto en los años 2008, 2012, 2014 y 2015, en lo que se detectaron, respectivamente, 14, 12, 13 y 12 granos de polen/ $\text{m}^3$  como picos máximos diarios.

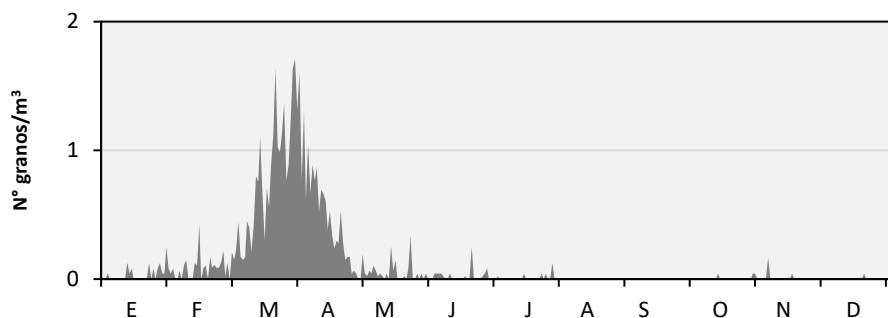
| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 55  | 0,25    | 6  |
| 1993  | 39  | 0,13    | 6  |
| 1994  | 34  | 0,13    | 3  |
| 1995  | 55  | 0,27    | 4  |
| 1996  | 36  | 0,08    | 4  |
| 1997  | 39  | 0,06    | 4  |
| 1998  | 18  | 0,05    | 4  |
| 1999  | 47  | 0,10    | 6  |
| 2000  | 30  | 0,09    | 4  |
| 2001  | 41  | 0,10    | 4  |
| 2002  | 15  | 0,05    | 4  |
| 2003  | 24  | 0,06    | 4  |
| 2004  | 8   | 0,03    | 1  |
| 2005  | 34  | 0,08    | 6  |
| 2006  | 33  | 0,12    | 3  |
| 2007  | 50  | 0,11    | 6  |
| 2008  | 62  | 0,19    | 14   |
| 2009  | 49  | 0,12    | 4  |
| 2010  | 54  | 0,13    | 4  |
| 2011  | 49  | 0,18    | 5  |
| 2012  | 65  | 0,22    | 12   |
| 2013  | 91  | 0,22    | 7  |
| 2014  | 50  | 0,12    | 13   |
| 2015  | 91  | 0,30    | 12   |
| Media | 45  | 0,13    | 6  |

**Tabla 4.163.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Morus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

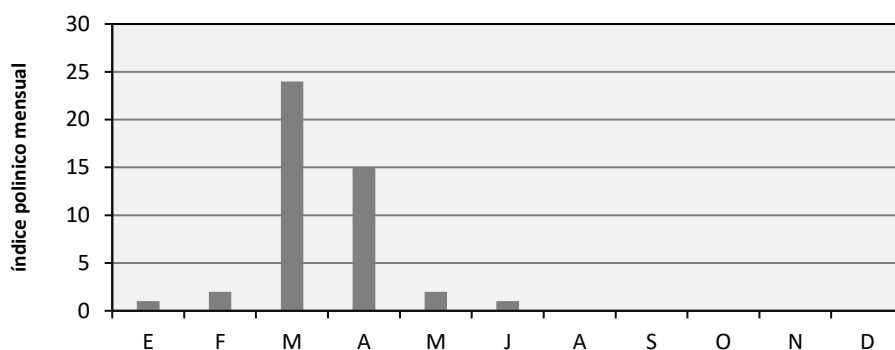
#### 4.5.9.5. Variación estacional

En la atmósfera de Málaga, el polen de *Morus* se detectó en concentraciones muy bajas, básicamente desde finales de enero hasta mayo, siendo los meses marzo y abril los que presentaron la mayor actividad polínica de este tipo, aunque este polen se detecta, también de manera esporádica durante el resto de año (Fig. 4.225). El mayor valor del índice polínico mensual se alcanzó en marzo, con 24 como valor medio, mientras que, en abril, mes en segunda posición en lo que se refiere a los registros polínicos, el valor medio obtenido fue igual a 15, a lo largo de los 24 años analizados.





**Figura 4.225.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Morus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

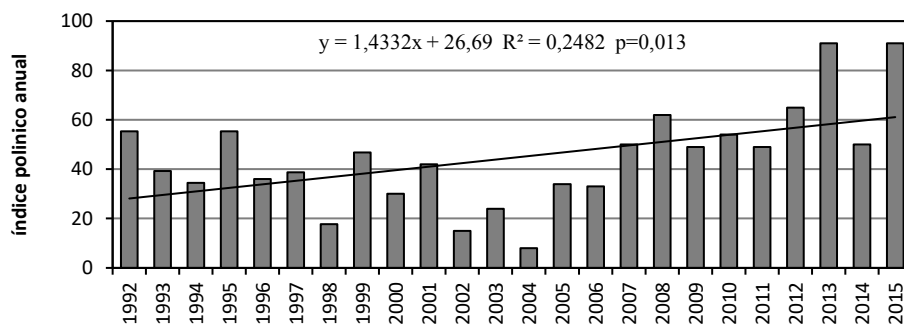


**Figura 4.226.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Morus* durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.9.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

Los registros obtenidos para el polen de *Morus* en la atmósfera de Málaga se caracterizan por presentar fluctuaciones interanuales. Sin embargo, evaluando el patrón general, se observa una evolución con tendencia positiva y estadísticamente significativa de los IPAs de este tipo polínico (Fig. 4.227), según los resultados tanto de la prueba de regresión ( $R^2=0,248$ ;  $p=0,013$ ), como del test de *Mann-Kendall* (Tabla 4.164). El valor de la pendiente de *Sen* fue de 1,21.



**Figura 4.227.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen *Morus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,302             | 0,042 | 1,21             |

**Tabla 4.164.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Morus* en la atmósfera de Málaga usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.5.9.7. Discusión

*Morus* es un género que se distribuye por las regiones cálidas y templadas de Asia, África y Norteamérica. En Málaga, las moreras son árboles originarios de China, de interés económico tanto por la cría del gusano de seda como por el cultivo para la obtención de sus frutos comestibles, pero también han sido introducidas como ornamentales. Así, en nuestra localidad, *Morus alba* se cultiva de forma aislada en jardines y como árbol de paseo, encontrándose repartida por casi toda la ciudad, mientras que *Morus nigra*, menos frecuente, se cultiva también en huertos por sus frutos comestibles, aunque su tradición de cultivo es cada vez menor.

A pesar de ser una especie con polinización anemófila, la incidencia de este polen en nuestra área de estudio fue baja, llegando a alcanzar un índice polínico anual máximo de 91 durante los años analizados (1992-2015). Este comportamiento puede ser debido a la distancia existente entre los ejemplares que habitan en la ciudad y el captador de polen, ya que no es frecuente en las inmediaciones. No obstante, al evaluar el patrón general de este tipo polínico, observamos una evolución significativa de los niveles detectados en la atmósfera de Málaga en dicho periodo, lo cual podría ser indicador del incremento del número de árboles usados como ornamentales en la localidad. Sin embargo, los índices polínicos anuales medios se muestran relativamente mayores en localidades cercanas Málaga capital. Valores tal como 138 se han registrado en Antequera (Recio *et al.*, 2000) y 180 en Estepona (Recio *et al.*, 2006). En el resto de las provincias andaluzas, se han descrito índices polínicos anuales muy elevados, con índices polínicos anuales llegando a casi 1.000 en Sevilla (Candau *et al.*, 2002b) y hasta 4.000 en Córdoba (Alcázar *et al.*, 2002).

El polen de *Morus* ha sido descrito como alergógeno en Norteamérica (Targow *et al.*, 1971; Levetin & Buck, 1980), Turquía (Güvensen & Öztürk, 2002), en Pakistán (Pallewatta *et al.*, 2003), en India (Singh *et al.*, 2003; Singh & Dahiya, 2008), en España (Navarro *et al.*, 1997; Muñoz *et al.*, 1995; Cariñanos *et al.*, 2016) y en Italia (Zanforlin & Incorvaia, 2004), donde lo consideraron como de importante causa de polinosis, por citar algunos trabajos. Las especies de *Morus* que se encuentran en la localidad malagueña han sido citadas como alergógnas por varios autores (Stanley & Linskens, 1974; Sáenz, 1978; Domínguez *et al.*, 1984), destacándose que el 3,3% de la población atópica en Málaga presentaron positividad a extractos de polen de *Morus* en Málaga (Burgos, 1991). A nivel antigénico se ha comprobado que presenta factores comunes con *Parietaria judaica* (Ayuso *et al.*, 1990). En California se han descrito casos de reactividad cruzada entre *Broussonetia papyrifera* y *Morus alba* (Targow, 1981).

#### 4.5.10. Tipo polínico *Parkinsonia*

*Parkinsonia* es un género de la familia de Fabaceae (Caesalpinioideae), procede de América tropical y cultivada como ornamental en la costa mediterránea. Este género se encuentra representado en la provincia de Málaga por una sólo especie, *Parkinsonia aculeata* L.



##### 4.5.10.1. Descripción botánica

Se trata de un árbol caducifolio de hasta 6-8m de altura, con ramas delgadas, zigzageantes y péndulas provistas de espinas agudas, de mayor tamaño en los ejemplares jóvenes y rebrotes basales. Hojas bipinnadas con folíolos muy pequeños, alternos, oblongo-lineares, caducos, y raquis ensanchado y persistente. Flores hermafroditas, de color amarillo o anaranjado, dispuestas en grupos en las axilas de las hojas. Cáliz con 5 segmentos membranosos, corola zigomorfa, con 5 pétalos de color amarillo. Androceo constituido por 10 estambres libres. Ovario pubescente. Fruto de tipo legumbre con constricciones entre las semillas.

##### 4.5.10.2. Época de floración/polinización

La floración ocurre entre mayo hasta agosto. La polinización es entomófila pero, por estar las flores muy expuestas al viento, sus granos de polen pueden pasar fácilmente a la atmósfera.

##### 4.5.10.3. Morfología polínica

Trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. De circular lobulado a subtriangular angulaberturado en vista polar y de circular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. De esferoidal a suboblado. Tamaño mediano. Ectoaberturas de tipo colpo y endoaberturas de tipo poro. Exina de unos de 2µm de grosor. Superficie reticulada.

##### 4.5.10.4. Variación interanual

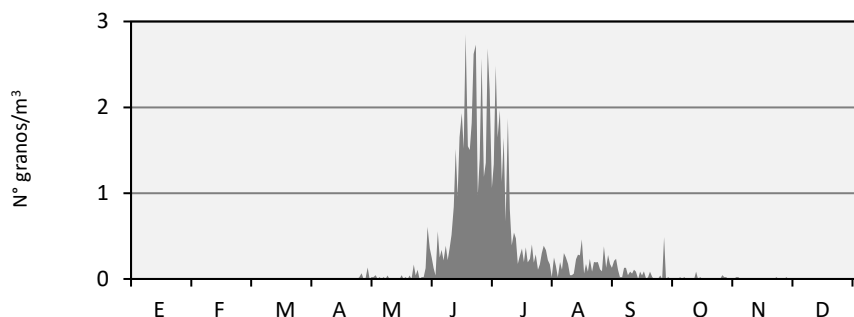
En la tabla 4.165 se muestra la evolución de los índices polínicos anuales de *Parkinsonia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo (1992-2015). Este tipo polínico contribuyó con 0,20% al espectro polínico total, con un índice polínico medio anual de 67. Los IPAs han sido fueron muy heterogéneos, ya que se registró un mínimo de 6 (año 2013) mientras un máximo de 216 (año 2003). En lo que se refiere a los picos máximos, esos fueron muy bajos, ya que, como mucho lograron a alcanzar 30 granos de polen/m<sup>3</sup> a lo largo de la serie temporal estudiada.

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 78  | 0,35    | 13   |
| 1993  | 75  | 0,25    | 10   |
| 1994  | 75  | 0,27    | 10   |
| 1995  | 102 | 0,50    | 8  |
| 1996  | 60  | 0,14    | 8  |
| 1997  | 100 | 0,15    | 18   |
| 1998  | 67  | 0,20    | 13   |
| 1999  | 69  | 0,15    | 15   |
| 2000  | 77  | 0,24    | 9  |
| 2001  | 152 | 0,35    | 30   |
| 2002  | 84  | 0,27    | 11   |
| 2003  | 216 | 0,54    | 26   |
| 2004  | 82  | 0,33    | 14   |
| 2005  | 45  | 0,10    | 11   |
| 2006  | 21  | 0,08    | 9  |
| 2007  | 91  | 0,20    | 16   |
| 2008  | 42  | 0,13    | 10   |
| 2009  | 40  | 0,10    | 5  |
| 2010  | 18  | 0,04    | 4  |
| 2011  | 19  | 0,07    | 5  |
| 2012  | 35  | 0,12    | 11   |
| 2013  | 6   | 0,01    | 3  |
| 2014  | 37  | 0,09    | 5  |
| 2015  | 24  | 0,08    | 8  |
| Media | 67  | 0,20    | 11   |

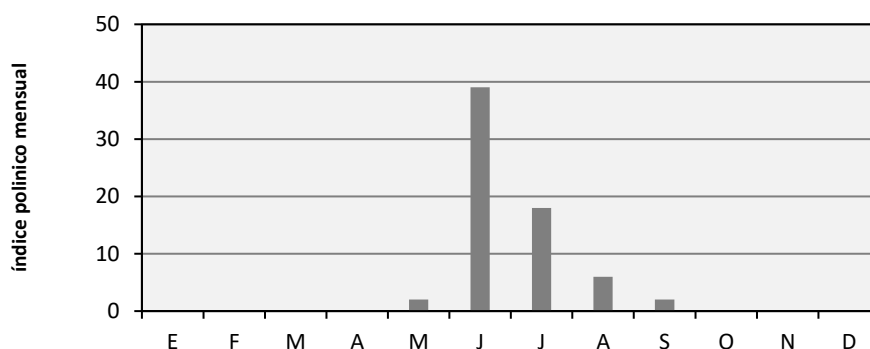
**Tabla 4.165.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Parkinsonia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.10.5. Variación estacional

El tipo polínico de *Parkinsonia* aparece en la atmósfera de Málaga a finales de primavera y en el periodo estival, marcando sus máximas concentraciones medias diarias en el mes de junio (Fig. 4.232), si bien el patrón promedio de los niveles diarios registrados presentaron valores que no ascendieron por encima de 3 g.p./m<sup>3</sup>. En lo que se refiere a los índices polínicos mensuales medios durante el periodo (1992-2015), los valores más altos se alcanzan en los meses de junio, con un valor del índice polínico mensual medio igual a 39, mientras en julio, segundo mes en lo que se detecta este polen en cantidades relevantes, el IP mensual fue de 18 (Fig. 4.228).



**Figura 4.228.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Parkinsonia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

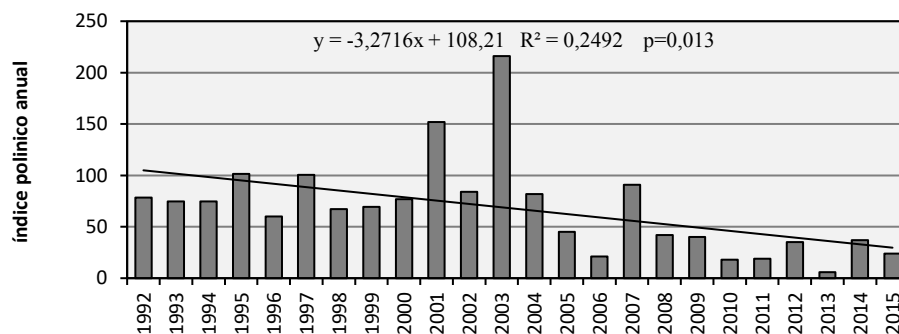


**Figura 4.229.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos del polen de *Parkinsonia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.10.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

La evolución general de los índices polínicos anuales del polen de *Parkinsonia* muestra una tendencia negativa, que refleja una disminución de los registros polínicos en la atmósfera de Málaga durante los 24 años analizados (Fig. 4.230). Asimismo, tanto la prueba estadística de *Mann-Kendall* como el estudio de regresión corroboraron este comportamiento, ya que los niveles de este tipo polínico disminuyen significativamente en nuestra área. Esta tendencia viene explicada por la pendiente de *Sen* ya que se obtuvo un valor negativo igual a -2,79 (Tabla 4.166).



**Figura 4.230.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Parkinsonia* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,454            | 0,002 | -2,79            |

**Tabla 4.166.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de del polen de *Parkinsonia* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.5.10.7. Discusión

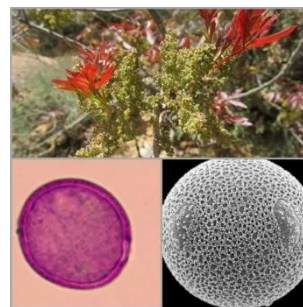
A pesar de estar representado en Málaga por una única especie ornamental, *Parkinsonia aculeata*, de características típicamente entomófilas, este tipo polínico alcanzó un índice polínico anual medio de 67 durante el periodo analizado (1992-2015), representando así un 0,20% del espectro polínico total. Sin embargo, si nos fijamos en la evolución de los índices polínicos anuales en la atmósfera de Málaga a lo largo de los 24 años analizados, parece que este polen está disminuyendo de manera significativa. Esto podría estar relacionado con una disminución de los ejemplares de esta especie en nuestra área de estudio.

El polen de *Parkinsonia* ha sido detectado en varios puntos de la provincia malagueña, con índices polínicos anuales medios muy bajos similares a Málaga capital, con un valor de 4 en el caso de Antequera (Recio *et al.*, 2000) durante el periodo 1998-1999 y 19 en Nerja (Docampo, 2008) durante el periodo 2000-2003.

En otras localidades de Península Ibérica, este tipo polínico no ha estado presente en la base de datos de los grupos de trabajo que integran la REA, porque no suele estar presente en el aire o si acaso se detecta con concentraciones muy bajas (Vélasco-Jimenez *et al.*, 2014). Sin embargo, puesto que es un árbol distribuido naturalmente desde el suroeste de los Estados Unidos, México y Argentina, y en la actualidad naturalizado en el Sur de Africa, India y la Península Arabia (Poulsen *et al.*, 1998), se ha descrito que el polen de *Parkinsonia* presenta una alta incidencia en la atmósfera de localidades como Al-Khobar in Arabia Saudí (Hasnain *et al.*, 2005), Obregón in México (Moreno-Sarmiento *et al.*, 2016), en India tal como Agra (Chauhan & Goyal, 2006), Gwalior (Gupta & Jain, 2012). En un estudio llevado a cabo en la localidad de Arizona (Estados Unidos), Buckley *et al.* (2016) señalan que el polen de *Parkinsonia* representa la tercera causa más importante de las polinosis registradas en esta localidad, ya que 47% de los pacientes con polinosis presentaron reactividad a extractos de este tipo polínico, aunque ninguno fue monosensible.

#### 4.5.11. Tipo polínico *Pistacia*

Pertenece a la familia de las Anacardiaceae, aparece en toda la región mediterránea formando parte de la vegetación esclerófila típica del bosque mediterráneo. Este género está representado por dos especies en la provincia de Málaga: *Pistacia lentiscus* L. que forma parte de los matorrales termófilos desarrollados sobre suelos profundos y frescos y *Pistacia terebinthus* L. que se desarrolla en los bosques y matorrales autóctonos. El uso principal del lentisco es de obtener una resina aromática (almáciga) también se utiliza en la industria de barnices y en odontología para preparar cementos dentarios.



##### 4.5.11.1. Descripción botánica

Son arbustos o arbolillos de hasta 5m de altura, dioicos. Hojas coriáceas, compuestas, paripinadas y perennes en *Pistacia lentiscus* L., e imparipinadas y caducas en *P. terebinthus* L. Flores unisexuales, dispuestas en cortas espigas en las axilas de las hojas. Androceo con cinco estambres de filamentos cortos y anteras gruesas. Gineceo constituido por un pistilo con tres estigmas. Frutos pequeños, subglobosos y de color rojizo.

##### 4.5.11.2. Época de floración/polinización

La floración ocurre desde febrero a mayo. La polinización es entomófila.

##### 4.5.11.3. Morfología polínica

Polen tetrapantoporado ó polipantoporado, apolar con simetría radial. Circular, a veces elíptico en corte óptico. Tamaño de pequeño a mediano. Aberturas simples de tipo poro, de 5-11 en *P. lentiscus* o de 4-7 en *P. terebinthus*, de alrededor de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro; a veces con un anillo poco marcado. Exina de 1-1,5  $\mu\text{m}$  de grosor en la mesoporía. Superficie de perforada a ligeramente reticulada, con lúmenes irregulares y con gránulos sobre los muros.

##### 4.5.11.4. Variación interanual

En la tabla 4.167, se observa el comportamiento de los índices polínicos anuales del tipo polínico *Pistacia* durante el periodo 1992-2105. Este polen representó el 0,32% del espectro polínico total de la atmósfera de Málaga, y un índice polínico anual promedio de 116, si bien los niveles fueron variando considerablemente de un año a otro. De hecho, los índices polínicos fluctuaron entre 27 (año 1995) y 307 (año 2001). De modo similar, también se observó un patrón poco estable en lo que se refiere a las concentraciones medias diarias máximas se refiere, con un valor de 3 granos de polen/ $\text{m}^3$  como mínimo, y de 35 granos de polen/ $\text{m}^3$  como máximo, siendo el promedio de 15 g.p./ $\text{m}^3$ .

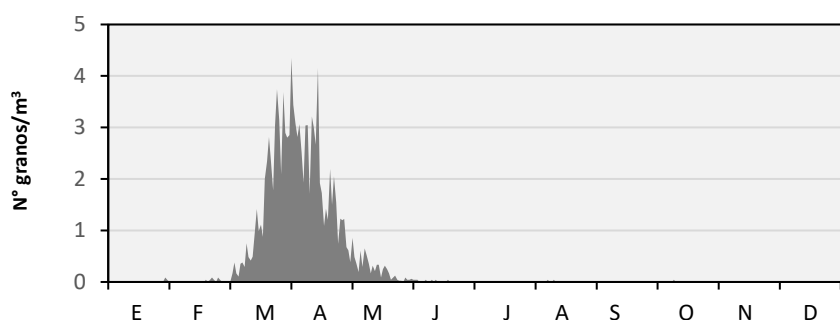
| Años  | IPA | % anual | Valor máximo Diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 73  | 0,33    | 13   |
| 1993  | 100 | 0,33    | 18   |
| 1994  | 109 | 0,40    | 19   |
| 1995  | 27  | 0,13    | 3  |
| 1996  | 38  | 0,09    | 6  |
| 1997  | 91  | 0,14    | 15   |
| 1998  | 51  | 0,15    | 7  |
| 1999  | 203 | 0,44    | 28   |
| 2000  | 32  | 0,10    | 4  |
| 2001  | 307 | 0,70    | 28   |
| 2002  | 39  | 0,12    | 5  |
| 2003  | 102 | 0,26    | 25   |
| 2004  | 65  | 0,26    | 9  |
| 2005  | 166 | 0,39    | 35   |
| 2006  | 44  | 0,16    | 4  |
| 2007  | 217 | 0,47    | 28   |
| 2008  | 173 | 0,54    | 14   |
| 2009  | 167 | 0,40    | 12   |
| 2010  | 90  | 0,22    | 10   |
| 2011  | 149 | 0,54    | 26   |
| 2012  | 170 | 0,58    | 15   |
| 2013  | 63  | 0,15    | 5  |
| 2014  | 220 | 0,54    | 31   |
| 2015  | 82  | 0,27    | 5  |
| Media | 116 | 0,32    | 15   |

**Tabla 4.167.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Pistacia* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

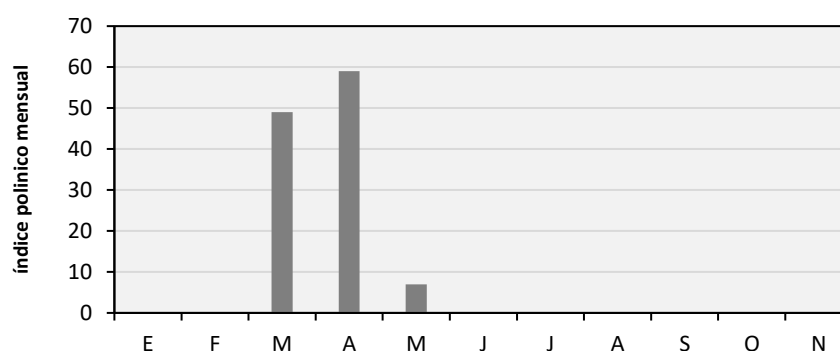
#### 4.5.11.5. Variación estacional

En lo que se refiere a la distribución de los valores medios diarios del polen de *Pistacia* en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.231) durante el periodo (1992-2015), se observa una gráfica con una estacionalidad muy marcadas, detectándose fundamentalmente entre marzo y mayo, siendo el mes de abril cuando se alcanzan las mayores concentraciones, registrándose en este mes un índice polínico mensual medio de 59 .





**Figura 4.231.** Valores promedios de la concentración media diaria del polen de *Pistacia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

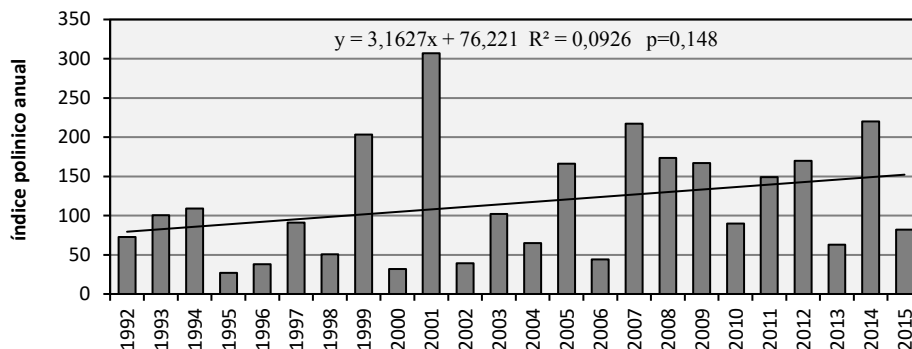


**Figura 4.232.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos del polen de *Pistacia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.11.6. Estudio de tendencia

##### ▪ Índice polínico anual

En la figura 4.233 se presenta el patrón de la evolución anual de los índices polínicos anuales del tipo polínico de *Pistacia* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015). Se observa que existen grandes diferencias interanuales, con periodos de alternancia bianual. El análisis de la dinámica de este tipo polínico mediante la realización de un estudio de regresión muestra una tendencia al aumento del IPAs en la atmósfera de Málaga a lo largo del tiempo. Este hecho ha sido confirmado también mediante la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=0,232$ ,  $p=0,120$ ), aunque en ambos casos los coeficientes no fueron significativos. El valor de la pendiente de *Sen* fue de signo positivo e igual a 3,02 (Tabla 4.168).



**Figura 4.234.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Pistacia* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

|       |        |       |    | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
| Serie | Inicio | Final | n  | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,232             | 0,120 | 3,02             |

**Tabla 4.168.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Pistacia* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.5.11.7. Discusión

Las especies de *Pistacia* crecen en las regiones cálidas y templadas del hemisferio norte, predominantemente en los matorrales esclerófilos de la cuenca mediterránea (Jordano, 1988), y sus pólenes aparecen, por lo tanto, en la atmósfera de diversas localidades costeras del sureste de España.

Fundamentalmente, dos especies se encuentran en la Península Ibérica: *Pistacia lentiscus* L., que crece en todos los tipos de suelos y en altitudes que van desde el nivel del mar hasta más de 1000 m, y la *Pistacia terebinthus* L., que, aunque más común en suelo rocoso, puede también crecer en todos los suelos desde el nivel del mar hasta 1500 m en regiones más templadas (Valdés *et al.*, 1987, Trigo *et al.*, 2008).

Este tipo polínico ha sido detectado en la atmósfera de algunas zonas de Andalucía, Cataluña y Valencia, sin embargo, en el resto de España, no en todas las estaciones aerobiológicas que se integran en la REA, aparece el polen de *Pistacia* (Trigo *et al.*, 2008).

Aunque se ha descrito como típicamente anemófila, caracterizada por una producción polínica elevada (Jordano, 1989; Verdú & García-Fayos, 2002), los índices polínicos alcanzados en la atmósfera de Málaga han sido muy variables entre sí a lo largo del periodo estudiado, ya que se contabilizó un valor medio de 116 para el índice polínico anual, lo que representa el 0,32% del espectro polínico total anual. Este comportamiento es similar al observado en Córdoba (Velasco-Jiménez *et al.*, 2014). Los índices polínicos son consideradas bajas en comparación con otras especies anemófila presentes en el mismo hábitat como *Quercus* (Gálan *et al.*, 1991; García-Mozo *et al.*, 2006), lo que coincide también al observado en Málaga. Asimismo, Trigo *et al.* (2008) sugieren que este tipo polínico podría tener una capacidad limitada de dispersión en el aire.

En lo que se refiere a la línea de tendencia de los índices polínicos anuales, se observa una evolución positiva de los mismos para este tipo polínico, lo que podríamos achacar a la dirección en que

sopla el viento y al efecto de la velocidad media del mismo, cuya tendencia ha sido a incrementarse en los últimos años, lo que parece influir positivamente, incrementando los niveles de polen en la atmósfera de Málaga.

La estación principal de polinación de *Pistacia* en nuestra área de estudio transcurre fundamentalmente entre marzo y abril, comportamiento similar al descrito por Trigo *et al.* (2007) para Vélez-Málaga, Velasco-Jiménez *et al.* (2015) para Córdoba, Jordano (1988) para Doñana, Moreno-Durán *et al.* (1997) para Cádiz, Montserrat-Martí y Pérez-Rontomé (2002) para el noreste de España y Verdú & García-Fayos (2002) para diversos sitios en Portugal, España, Italia e Israel.

Desde el punto de vista alergógeno, el polen de *Pistacia* ha sido citado como agente productor de polinosis por Sáenz (1978), Lewis *et al.* (1983), Domínguez *et al.* (1984), si bien se ha encontrado reacciones alérgicas en pacientes atópicos mediante test cutáneos en diversos países como Israel (Keynan *et al.*, 1987) y Croacia (Cvitanovic & Marusic, 1994). Asimismo, los antígenos de la especie *P. lentiscus* han sido analizados por Keynan *et al.* (1997). Algunos autores reportaron reactividad cruzada con algunas especies del género *Shinus* (Keynan *et al.*, 1997, de Weerd *et al.*, 2002). Si bien en España no parece tenerse constancia de que este tipo polínico produzca sintomatología alguna, pero, debe tenerse en cuenta que el impacto alergénico potencial de las especies de *Pistacia* es de particular interés, especialmente desde que se están introduciendo como plantas ornamentales en los parques y jardines urbanos, en un intento por aumentar la conciencia pública del valor de la flora natural (Staffolani *et al.*, 2011; Velasco-Jiménez *et al.*, 2014).

#### 4.5.12. Tipo polínico *Populus*

El género *Populus* pertenece a la familia de Salicaceae. Se encuentra en las regiones templadas del Hemisferio Norte, siendo frecuente en márgenes de ríos y arroyos donde se encuentra asociado con frecuencia a olmos, sauces y fresnos. Además, sus especies se emplean como ornamentales en parques y jardines. En Málaga, la especie más frecuente que se puede encontrar cultivada es *Populus x canadensis* Moench, una especie híbrida entre *P. nigra* L. y *P. deltoides* Marshall.



##### 4.5.12.1. Descripción botánica

Se trata de árboles caducifolios, dioicos, con troncos cilíndricos. Hojas simples, alternas, largamente pecioladas, de deltoides a subelípticas con el margen dentado a ondulado. Flores desnudas cortamente pediceladas, dispuestas en las axilas de las escamas invernales, las masculinas con 6-20 estambres libres y las femeninas con 2-4 estigmas largos. El fruto en una cápsula dehiscente por 2-4 valvas, con numerosas semillas pelosas.

##### 4.5.12.2. Época de floración/polinización

El periodo de floración es de febrero a abril. La polinización es anemófila.

#### 4.5.12.3. Morfología polínica

Polen inaperturado. Apolar y radiosimétrico. Circular en corte óptico. Esferoidal. Tamaño de pequeño a mediano. Exina de 1,5 a 3  $\mu\text{m}$  de grosor, con sexina y nexina difíciles de diferenciar. Tectum parcial, infratectum sin columelas aparentes. Superficie perforado-reticulada, con lúmenes muy pequeños y muros más anchos e irregulares sobre los que aparecen espínulas muy pequeñas.

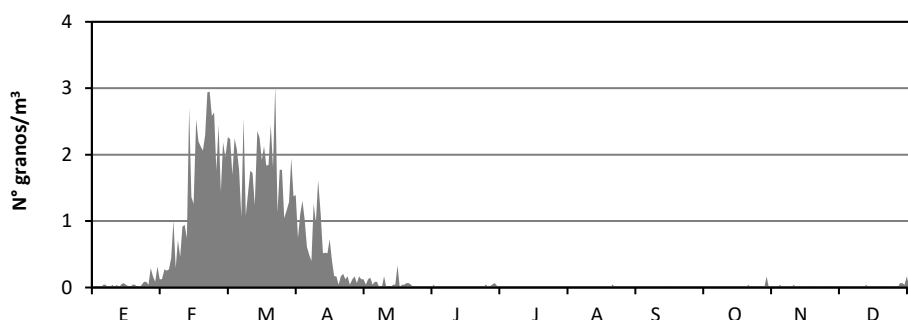
#### 4.5.12.4. Variación interanual

El porcentaje de representación del tipo polínico *Populus* en del espectro polínico total es de 0,35% durante el periodo 1992-2015, registrándose un índice polínico anual medio 118. Según la tabla (4.169), los niveles fueron variando de un año a otro, superando el 0,50% del polen total durante los años 1992, 1995, 2000, 2006. La variación interanual mostró cierta tendencia a mostrar una alternancia bianual durante ciertos periodos, siendo el año 2000 el que registró el índice polínico anual más alto, con un valor de 215, mientras en el año 1993 el más bajo, con 35.

Con respecto a las concentraciones medias diarias máximas de este tipo polínico en Málaga, éstas fueron generalmente bajas, ya que se registró un valor medio de 13 granos de polen/ $\text{m}^3$  durante todo el periodo analizado, siendo la concentración media diaria de 30 g.p./ $\text{m}^3$  la más elevada para todo el periodo estudiado, mientras que el valor mínimo fue de 5 g.p./ $\text{m}^3$ .

#### 4.5.12.5. Variación estacional

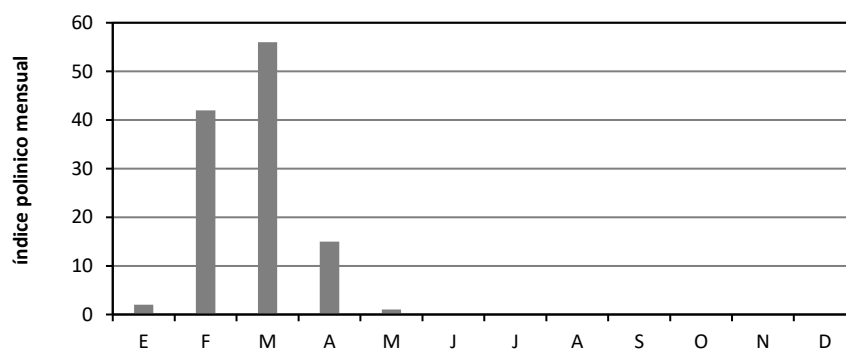
El polen de *Populus* se detecta fundamentalmente desde finales de enero hasta principios de mayo en la atmósfera de Málaga, siendo los meses de febrero y marzo, los que alcanzan los índices polínicos mensuales más elevados (Fig. 4.235). En marzo, se registró siempre el mayor índice polínico mensual medio, con un valor medio igual a 56, mientras que durante febrero, el valor medio alcanzado durante el periodo de estudio (1992-2015) fue de 42 (Fig. 4.236).



**Figura 4.235.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Populus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 120 | 0,54    | 29   |
| 1993  | 35  | 0,11    | 5  |
| 1994  | 97  | 0,36    | 10   |
| 1995  | 108 | 0,53    | 9  |
| 1996  | 98  | 0,23    | 17   |
| 1997  | 202 | 0,31    | 18   |
| 1998  | 91  | 0,27    | 8  |
| 1999  | 175 | 0,38    | 15   |
| 2000  | 215 | 0,66    | 30   |
| 2001  | 93  | 0,21    | 9  |
| 2002  | 130 | 0,42    | 15   |
| 2003  | 74  | 0,19    | 8  |
| 2004  | 52  | 0,21    | 9  |
| 2005  | 78  | 0,18    | 9  |
| 2006  | 156 | 0,58    | 12   |
| 2007  | 132 | 0,28    | 11   |
| 2008  | 69  | 0,22    | 8  |
| 2009  | 121 | 0,29    | 15   |
| 2010  | 91  | 0,22    | 5  |
| 2011  | 137 | 0,49    | 10   |
| 2012  | 136 | 0,46    | 17   |
| 2013  | 133 | 0,32    | 26   |
| 2014  | 131 | 0,32    | 11   |
| 2015  | 151 | 0,50    | 11   |
| Media | 118 | 0,35    | 13   |

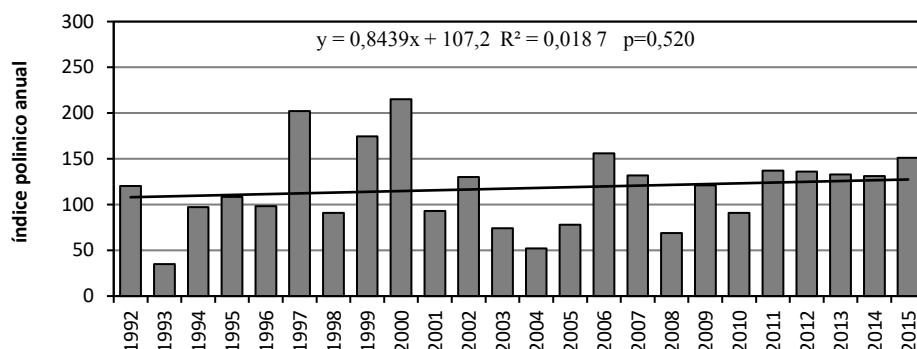
**Tabla 4.169.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Populus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.236.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el tipo polínico *Populus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.12.6. Estudio de tendencia

Los índices polínicos anuales de *Populus* se caracterizan por presentar variaciones interanuales muy marcadas en el periodo 1992-2010, mostrándose una cierta estabilidad durante los años (2011-2015). El análisis de la tendencia de este tipo polínico mediante la regresión lineal apenas ha mostrado una ligera tendencia al aumento en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.237), lo que coincide con los resultados de la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=0,145$ ;  $p=0,338$ ). La magnitud del aumento de los IPAs presentó un signo positivo, con un valor de la pendiente de *Sen* igual a 1,29 (Tabla 4.170).



**Figura 4.237.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Populus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,145             | 0,338 | 1,29             |

**Tabla 4.170.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Populus* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.5.12.7. Discusión

Durante el periodo 1992-2015, el índice polínico anual registrado en la atmósfera de Málaga fue de 118. En otros puntos de muestreo cercanos a nuestra localidad, los índices polínicos anuales medios de *Populus* fueron de 52 en Estepona (Recio *et al.*, 2006), 87 en Vélez-Málaga (Trigo *et al.*, 2007), y 126 en Antequera (Recio *et al.*, 2000), 131 en Nerja (Docampo, 2008), en orden de menor a mayor de abundancia. En otras provincias andaluzas, los índices polínicos varían mucho entre puntos relativamente cercanos (Cariñanos *et al.*, 2002a; Moreno-Grau *et al.*, 2002; Díez Herrero *et al.*, 2002). Esto probablemente se debe a la distribución de estas especies, al tratarse de plantas cultivadas y estar ligadas a cursos de agua en la vegetación natural.

El comportamiento estacional del polen de *Populus* fue bastante estable, detectándose principalmente de febrero a marzo, lo que difiere al observado en otras ciudades de la Península Ibérica, con un periodo de polinación principal comprendida entre los meses de marzo y abril, tal como ocurre

en Córdoba (Álcazar *et al.*, 2004), Vigo (Rodríguez-Rajo, 2000), Toledo (García-Mozo *et al.*, 2006) o Guadalajara (Rojo *et al.*, 2016).

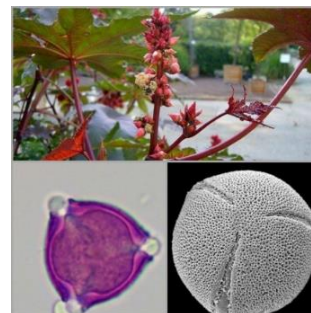
Al observar la evolución y la dinámica de los índices polínicos de *Populus* en la atmósfera de Málaga, se observa una ligera tendencia, no significativa, al aumento. Asimismo, el hecho de que no existen choperas en los alrededores de la estación de muestreo, sugiere una posible procedencia del polen de zonas alejadas al captador. Este comportamiento revela que el principal causa de estos ligeros incrementos se deben a la dirección y la velocidad media del viento. Este hipótesis ha sido confirmada en un trabajo previo llevado a cabo en la misma localidad por Melgar (2010), ya que encontró una correlación significativa y positiva obtenida entre los niveles de polen y la velocidad media del viento durante el periodo pre-pico, al estudiar los años 2004-2006. Además, también obtuvo una correlación positiva y significativa entre el viento del cuarto cuadrante y las concentraciones medias diarias del polen de *Populus* durante el PPP del mismo periodo, arrastrándolo de zonas interiores. En este mismo sentido, Rojo *et al.* (2015) encontraron que los niveles de polen detectados en la ciudad de Guadalajara, entre ellos el tipo polínico *Populus*, procedían fundamentalmente de la contribución de la flora de los alrededores de la ciudad de Guadalajara, situada a una distancia de 20 Km del punto de muestreo.

El polen de *Populus* ha sido citado como importante causante de polinosis invernales (Izco *et al.*, 1972; Stanley & Linkens, 1974; Domínguez *et al.*, 1984; Halse, 1984), si bien que otros autores lo consideran sólo un alérgeno moderado (Güvensen & Öztürk, 2002). Su capacidad alérgica puede variar y se debe a que existen diferencias en función de la especie analizada, siendo el polen de *Populus alba* considerado como altamente alérgico (Aytug & Güven, 1991). El hecho de que los niveles alcanzados por este tipo polínico en la atmósfera generalmente sean bajos, hacen que el polen de *Populus* no sean problemático desde el punto de vista alergológico (Spieksma *al.* 1993).

Se han definido diversos casos de reactividad cruzada entre *Populus* y *Salix* en test cutáneos, sugiriéndose la existencia de alérgenos comunes (Lewis *et al.*, 1983). En Málaga, se ha detectado que un 3,3% de pacientes atópicos presentaron positividades en test cutáneos a los extractos de polen de *Populus* (Burgos, 1991).

#### 4.5.13. Tipo polínico *Ricinus*

El género *Ricinus*, representado por una sola especie *Ricinus communis* L., forma parte de la familia Euphorbiaceae, es originario de África (Etiopía), desde donde se dispersó hacia todas las regiones cálidas del globo. Es muy frecuente en Andalucía, al igual que en la provincia de Málaga, donde se encuentran en lugares alterados por el hombre. Se emplea en la extracción de aceite de sus semillas, que son muy tóxicas debido a la presencia de una sustancia denominada ricina. El aceite de ricino tiene uso industriales y cosméticos, pero también se utiliza como laxante entre otros. A veces la planta se cultiva en jardinería, especialmente el cultivar ‘Atropurpurea’.



### 4.5.13.1. Descripción botánica

Arbusto, monoico con tallo grueso. Hojas grandes, alternas y palmatilobadas, presentando a veces color rojo oscuro. Flores unisexuales que se agrupan en largas inflorescencias racemosas erectas estando las masculinas situadas en la base y las feminias en el ápice de las mismas. Las flores masculinas tienen un cáliz de cinco piezas lanceoladas y numerosísimos estambres soldados en una columna. Las flores feminias se disponen en la parte superior de la inflorescencia, con un ovario formado por tres carpelos. El fruto es una cápsula trilocular con tres semillas provistas de una excrecencia carnosa.

### 4.5.13.2. Época de floración/polinización

La floración se produce durante todo el año y su polinización es anemófila, debido a la dehiscencia explosiva de sus anteras.

### 4.5.13.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado, isopolar y radiosimétrico. Circular en vista polar y de subcircular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. Tamaño mediano, estando comprendido entre los 25 y los 30  $\mu\text{m}$ . Ectoaberturas de tipo colpo, terminales y estrechas, de menos de 1  $\mu\text{m}$  de anchuras, con extremos agudos y un estrecho margen; endoaberturas de tipo poro, lalongadas, rectangulares. Membrana apertural granulada. Exina de 2  $\mu\text{m}$  de grosor, con la superficie perforada.

### 4.5.13.4. Variación interanual

El polen de *Ricinus* aportó un 0,25% en el espectro polínico total de la atmósfera de Málaga, lo que representa un índice polínico anual medio de 86 (Tabla 4.171). Durante los años analizados, se observó un comportamiento variable en los registros anuales, llegando a alcanzar un 0,63% del total anual el año 1992, mientras representó tan sólo 0,10% los años 1996 y 1997. En lo que se refiere a las concentraciones medias diarias máximas registradas a lo largo de todo el periodo de estudio, rara vez se superó el valor de 5 g.p./m<sup>3</sup>, excepto en el año 2007, en el que se registró un pico máximo diario histórico con 21 g.p./m<sup>3</sup>.

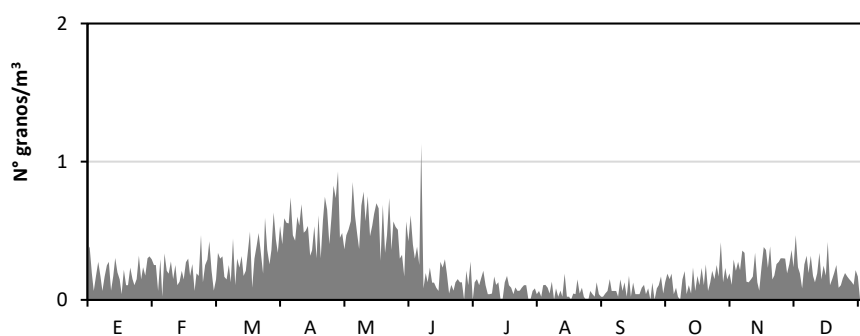
### 4.5.13.5. Variación estacional

En lo que se refiere al patrón de las concentraciones medias diarias, se observa que este tipo polínico aparece en la atmósfera de Málaga durante todo el año, con concentraciones promedio muy bajas (Fig. 4.238), con un ligero aumento durante los meses de primavera (marzo-mayo). Los índices polínicos mensuales medios siguieron un patrón similar, alcanzando valores máximos de 16 en los meses de abril y mayo (Fig. 4.239) durante el periodo (1992-2015).



| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 139 | 0,63    | 5  |
| 1993  | 43  | 0,14    | 1  |
| 1994  | 82  | 0,30    | 3  |
| 1995  | 81  | 0,39    | 3  |
| 1996  | 44  | 0,10    | 2  |
| 1997  | 64  | 0,10    | 2  |
| 1998  | 78  | 0,23    | 3  |
| 1999  | 108 | 0,24    | 4  |
| 2000  | 128 | 0,39    | 3  |
| 2001  | 104 | 0,24    | 3  |
| 2002  | 101 | 0,32    | 4  |
| 2003  | 86  | 0,22    | 3  |
| 2004  | 46  | 0,18    | 2  |
| 2005  | 58  | 0,14    | 4  |
| 2006  | 70  | 0,26    | 3  |
| 2007  | 139 | 0,30    | 21   |
| 2008  | 131 | 0,41    | 4  |
| 2009  | 88  | 0,21    | 2  |
| 2010  | 115 | 0,28    | 5  |
| 2011  | 77  | 0,33    | 3  |
| 2012  | 98  | 0,16    | 5  |
| 2013  | 66  | 0,19    | 3  |
| 2014  | 79  | 0,14    | 4  |
| 2015  | 43  | 0,16    | 2  |
| Media | 86  | 0,25    | 4  |

**Tabla 4.171.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Ricinus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).



**Figura 4.238.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Ricinus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

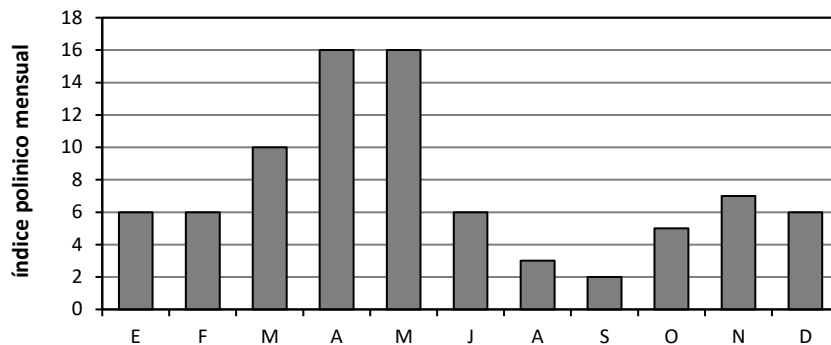


Figura 4.239. Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el polínico *Ricinus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.13.6. Estudio de tendencia

La observación de la dinámica de los índices polínicos anuales del tipo *Ricinus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015) muestra que no se puede definir un comportamiento claro (Fig. 4.240). La prueba de regresión indica que prácticamente no existe tendencia alguna del IPA, lo que coincide con los resultados obtenidos mediante la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,029$ ,  $p=0,864$ ). La pendiente de *Sen* confirma este comportamiento, con un valor negativo muy bajo, igual a  $-0,12$  (Tabla 4.172).

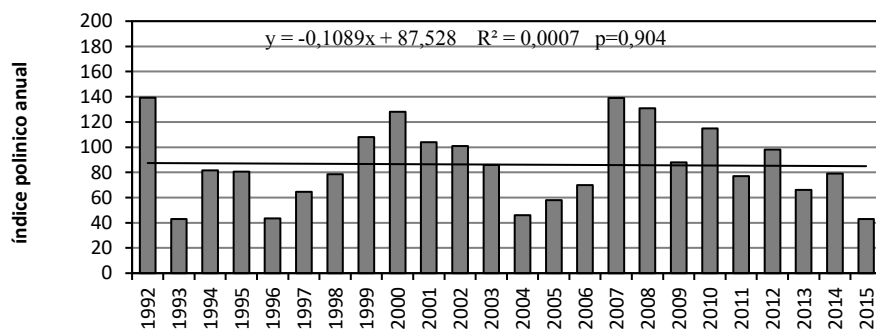


Figura 4.240. Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Ricinus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,029            | 0,864 | -0,12            |

Tabla 4.172. Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Ricinus* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.5.13.7. Discusión

A pesar de ser básicamente anemófilo, y de presentar la dehiscencia explosiva de las anteras (Bianchini & Paccini, 1996), la contribución del polen de *Ricinus* a la atmósfera de Málaga fue baja, con tan sólo el 0,25% del espectro polínico total durante el periodo estudiado (1992-2015). El índice

polínico anual medio fue bajo, de 86, menor al detectado en otras localidades cercanas a Málaga capital, como el caso de Antequera y Estepona (Recio *et al.*, 2000; Recio *et al.*, 2006). Sin embargo, este polen presenta índices polínicos anuales medios mayores en Nerja (Docampo, 2008), Motril (Nieto Lugilde *et al.*, 2004) y Vélez-Málaga (Trigo *et al.*, 2007). Asimismo, en estudios realizados en otras poblaciones se muestra que las concentraciones son nulas en zonas del interior como el caso de Madrid (Diez Herreo *et al.*, 2002; Martín Madrigal *et al.*, 2002), Valencia (Tortajada & Mateu, 2002) y Barcelona (Beltomte *et al.*, 2002a), por citar algunos ejemplos.

Aunque *Ricinus* es una especie caracterizada por un periodo de floración muy largo y con flores que producen grandes cantidades de polen, la evolución de los niveles de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga no presenta ninguna tendencia clara, ni al alza ni a la baja. En lo que se refiere a las concentraciones medias diarias máximas, los valores fueron muy bajos, con 4 granos de polen/m<sup>3</sup> como promedio. Esto se debe probablemente a que los ejemplares de este taxón son muy dispersas y a que reparten la floración durante todo el año.

La capacidad alergénica del polen de *Ricinus* ha sido descrita por Layton *et al.* (1962), Lewis *et al.* (1983), García-González *et al.* (1999), entre otros. En un estudio realizado en Málaga se detectó que cerca del 7% de pacientes atópicos presentaron sintomatología alérgica a este tipo, encontrándose también reactividad cruzada con otras especies de la familia Euphorbiaceae como *Mercurialis annua* (García-González *et al.*, 1996a) e incluso con extractos de su propia semilla (Layton *et al.*, 1962; Singh *et al.*, 2003).

#### 4.5.14. Tipo polínico *Typha*

Este género pertenece a la familia Typhaceae. Está representado en la provincia de Málaga por dos especies: *Typha angustifolia* L. y *T. dominguensis* (Pers.) Steude. Se trata de hierbas acuáticas o semiterrestres que suele vivir en corrientes de agua, tales como los lugares encharcadas de marismas litorales e interiores, poco profundas. La typha se ha empleado en la alimentación usándose sus rizomas y tallos jóvenes. Además las hojas se usan para la fabricación de esteras y de asientos de sillas.



##### 4.5.14.1. Descripción botánica

Hierbas perennes, monoicas que pueden alcanzar hasta 3m de altura. Hojas alternas, poco numerosas, lineares, sobrepasando las superiores a la espiga floral. Flores unisexuales, dispuestas en espádices cilindricos; las masculinas en el ápice con 1-5 estambres unidos por los filamentos a un largo pedicelo, con anteras basifijas y las femenias en la base, con un ovario pedunculado y un estilo muy largo. El fruto es monospermo, aqueniforme y con un estilo persistente.

##### 4.5.14.2. Época de floración/polinización

Florecen desde finales de mayo a junio. La polinización es anemófila.

#### 4.5.14.3. Morfología polínica

Polen mono-anaporado, heteropolar, con simetría radial; circular en visión polar y ecuatorial. Tamaño mediano. Aberturas simples de tipo poro, circular, de aproximadamente de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro; membrana apertural granulada. Exina de casi de 2  $\mu\text{m}$  de grosor, con sexina aproximadamente tan gruesa como la nexina. Tectum parcial; infractectum columelado. Superficie reticulada.

#### 4.5.14.4. Variación interanual

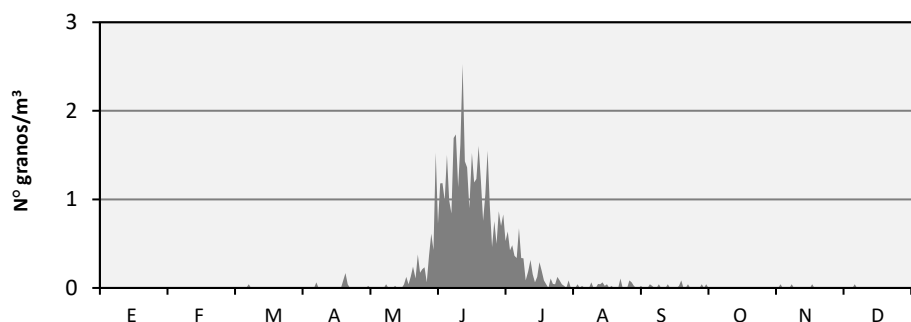
Con un índice polínico anual medio de 48, el polen de *Typha* contribuyó al espectro polínico de la atmósfera de Málaga con un 0,14%. Durante los 24 años de estudio, el tipo polínico *Typha* apareció frecuentemente en las muestras, aunque con una representación baja (Tabla 4.173). En la evolución interanual se observaron registros diferentes en sí, ya que se registraron índices polínicos anuales entre 19 (año 1996) y 89 (año 2007), excepto en el año 2012, que se alcanzó el valor de 128, el mayor índice polínico registrado durante todo el periodo. En lo que a las concentraciones medias diarias se refiere, se observó que los picos máximos alcanzados fueron bajos, ya que el valor máximo se registró también en el año 2012 con 16 granos de polen/ $\text{m}^3$  mientras que el valor mínimo fue 3 granos de polen/ $\text{m}^3$  durante el periodo estudiado.

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./ $\text{m}^3$ ) |
|-------|-----|---------|---|
| 1992  | 54  | 0,24    | 5   |
| 1993  | 45  | 0,15    | 4   |
| 1994  | 70  | 0,26    | 6   |
| 1995  | 59  | 0,29    | 6   |
| 1996  | 19  | 0,04    | 3   |
| 1997  | 45  | 0,07    | 4   |
| 1998  | 34  | 0,10    | 4   |
| 1999  | 23  | 0,05    | 4   |
| 2000  | 47  | 0,14    | 6   |
| 2001  | 61  | 0,14    | 8   |
| 2002  | 46  | 0,15    | 4   |
| 2003  | 42  | 0,11    | 10  |
| 2004  | 27  | 0,11    | 3   |
| 2005  | 47  | 0,11    | 13  |
| 2006  | 32  | 0,12    | 5   |
| 2007  | 89  | 0,19    | 10  |
| 2008  | 52  | 0,16    | 7   |
| 2009  | 51  | 0,12    | 6   |
| 2010  | 35  | 0,09    | 4   |
| 2011  | 42  | 0,15    | 8   |
| 2012  | 128 | 0,43    | 16  |
| 2013  | 43  | 0,10    | 6   |
| 2014  | 43  | 0,11    | 4   |
| 2015  | 20  | 0,03    | 4   |
| Media | 48  | 0,14    | 6   |

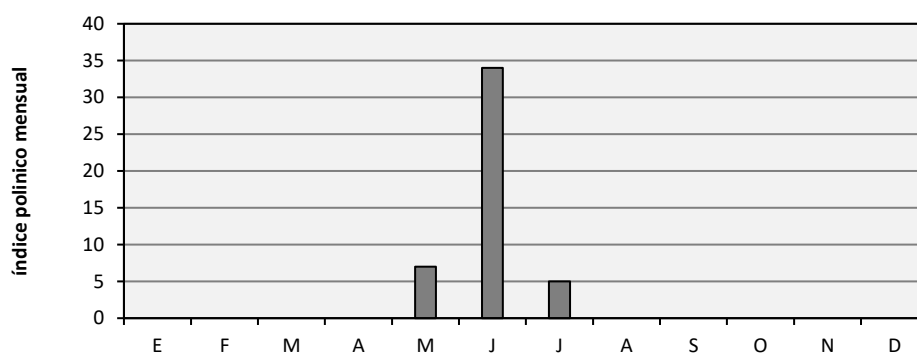
**Tabla 4.173.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/ $\text{m}^3$ ) del tipo polínico *Typha* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.5.14.5. Variación estacional

*Typha* ha presentado valores de concentraciones medias diarias muy bajos en la atmósfera de Málaga. El periodo de máxima emisión polínica del polen de *Typha* en la atmósfera de Málaga, se registra desde finales de mayo hasta finales de julio (Fig. 4.241), mostrando valores pico en el mes de junio, con un registro de 34 como índice polínico mensual medio (Fig. 4.242) para el periodo (1992-2015). Este valor se redujó a 7 en el mes de mayo y a tan sólo 5 en el mes de junio.



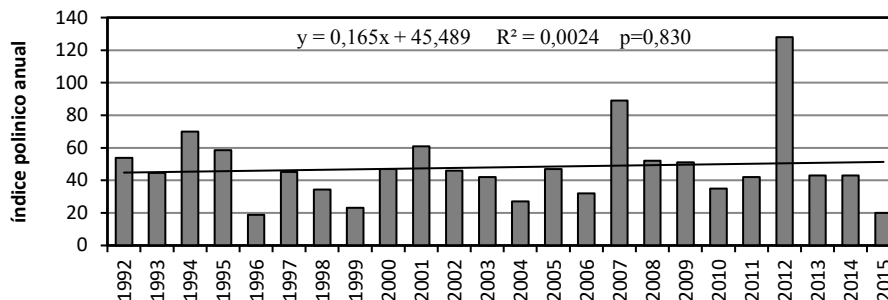
**Figura 4.241.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Typha* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).



**Figura 4.242.** Promedio de los índices polínicos mensuales obtenidos para el polen de *Typha* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.5.14.6. Estudio de tendencia

La evolución interanual de los índices polínicos anuales del polen de *Typha*, a pesar de presentar variaciones de un año a otro, apenas muestra una muy ligera tendencia incrementarse, teniendo en cuenta el resultado de la prueba de regresión lineal (Fig. 4.243). Sin embargo, esto se contradice respecto a lo observado con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall*, ya que se aprecia que existe una evolución negativa y estadísticamente no significativa (Tabla 4.174) de los niveles de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015.



**Figura 4.243.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Typha* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,069            | 0,655 | -0,20            |

**Tabla 4.174.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Typha* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.5.14.7. Discusión

Las especies del género *Typha* son plantas acuáticas o semiterrestres que se localizan principalmente en corrientes de agua y lugares encharcados. Presentan una distribución casi cosmopolita, encontrándose principalmente en zonas templadas y tropicales del hemisferio norte.

Si bien que se trata de un taxón con polinización típicamente anemófila, los índices polínicos anuales detectados en la atmósfera de Málaga fueron bajos con un valor medio de 48 durante el periodo (1992-2015), esto debido a que los habitats de sus especies no son muy frecuentes en los alrededores de nuestra área de estudio. Índices polínicos similares han sido observado en estaciones de muestreo cercanas como Motril (Nieto Lugilde, 2008), Antequera (Recio *et al.*, 2000), Chirivel (Cariñanos *et al.*, 2010).

Respecto a la alergenicidad del polen de *Typha*, algunas especies han sido citadas como alergógenas por diversos autores tal como Izco *et al.* (1972), Lewis *et al.* (1983), Halse (1984) y Domínguez *et al.* (1984), pero su importancia como alérgeno parece ser escasa, ya que concentraciones suficientemente altas de este polen sólo se encuentran en las cercanías de estas plantas, que no suelen estar próximas a los hábitats humanos. De hecho, no creemos que tenga relevancia en la producción de alergias en nuestra área de estudio.

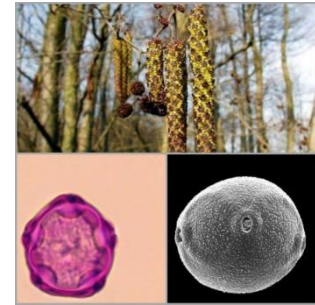


### 4.6. TIPOS POLÍNICOS RAROS

Se incluyen en este apartado todos aquellos tipos polínicos que, para el conjunto de los años estudiados, no llegaron a superar el porcentaje del 0,1% del total de los registros de polen obtenidos para la atmósfera de Málaga.

#### 4.6.1. Tipo polínico *Alnus*

El género *Alnus*, perteneciente a la familia de las betuláceas, se encuentra en gran parte de Europa, Asia y norte de África. En el sur de la Península Ibérica es frecuente en los Montes de Tarifa y en la zona de Algeciras. Sus especies se localizan puntualmente en las riberas de los ríos y en los lugares umbrosos, ya que necesita un suelo con humedad casi permanente y no soportan bien la sequía estival. Es poco frecuente en la provincia de Málaga, en donde se encuentra representado por una sola especie *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner.



##### 4.6.1.1. Descripción botánica

Se trata de árboles caducifolios, de tamaño medio que no suele superar los 20m de altura, aunque se conocen ejemplares de más de 30 m. Hojas simples, alternas, oscuras por el haz y más pálidas por el envés. Flores unisexuales, las masculinas dispuestas en grandes amentos verde-amarillentos y colgantes y los femeninas pequeñas rojo-amarillentos y erguidos. El fruto es de tipo aquenio.

##### 4.6.1.2. Época de floración/polinización

La floración es de noviembre hasta marzo. La polinización es estrictamente anemófila.

##### 4.6.1.3. Morfología polínica

Polen generalmente pentazonocolporado, a veces tetrazonocolporado, subisopolar, de simetría radial; tetragonal o pentagonal-angulaperturado en visión polar, con ángulos agudos y lados de cóncavos a ligeramente convexos, elíptico-planoconvexo en visión ecuatorial. Tamaño de pequeño a mediano. Ectoaperturas de tipo colpo, rodeadas por el engrosamiento de la exina; endoaperturas de tipo poro. Exina de 1  $\mu\text{m}$  de grosor en la mesocolpia o mesoporia y de 1 a tres veces más gruesa alrededor de las aberturas. Téctum completo; infratectum sin columelas aparentes. Superficie finamente rugulada, con pequeñas espinulas como elementos suprategales.

##### 4.6.1.4. Variación interanual

La aportación del polen de *Alnus* en la atmósfera de Málaga fue muy baja, representando 0,09% del espectro polínico anual, durante el periodo 1992-2015. El índice polínico medio fue 32, con valores que fluctuaron entre 7 (año 1993) y 80 (año 1999). Cabe mencionar que los niveles de este tipo polínico presentaron un patrón algo más estable durante los últimos años de la serie analizada (2012-2015), con



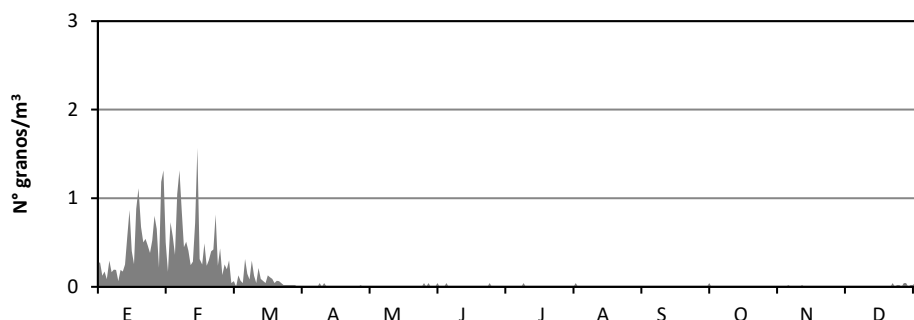
un valor mínimo de 46 mientras 69 como valor máximo. En cuando a las concentraciones medias diarias máximas o picos máximos, se observa que los valores obtenidos fueron de muy baja intensidad, con 5 g.p./m<sup>3</sup> como media, destacando los valores de 23, 16 granos de polen/m<sup>3</sup>, registrados en los años 2005 y 1996, respectivamente (Tabla 4.175).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 10  | 0,04    | 1  |
| 1993  | 7   | 0,02    | 3  |
| 1994  | 17  | 0,06    | 3  |
| 1995  | 11  | 0,05    | 1  |
| 1996  | 38  | 0,09    | 16   |
| 1997  | 15  | 0,02    | 2  |
| 1998  | 17  | 0,05    | 3  |
| 1999  | 80  | 0,17    | 13   |
| 2000  | 18  | 0,06    | 2  |
| 2001  | 41  | 0,09    | 5  |
| 2002  | 20  | 0,06    | 5  |
| 2003  | 43  | 0,11    | 9  |
| 2004  | 33  | 0,13    | 12   |
| 2005  | 67  | 0,16    | 23   |
| 2006  | 10  | 0,04    | 2  |
| 2007  | 11  | 0,02    | 2  |
| 2008  | 12  | 0,04    | 2  |
| 2009  | 31  | 0,07    | 5  |
| 2010  | 30  | 0,07    | 4  |
| 2011  | 28  | 0,10    | 4  |
| 2012  | 46  | 0,16    | 10   |
| 2013  | 50  | 0,12    | 12   |
| 2014  | 69  | 0,17    | 11   |
| 2015  | 60  | 0,20    | 9  |
| Media | 32  | 0,09    | 5  |

**Tabla 4.175.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Alnus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.6.1.5. Variación estacional

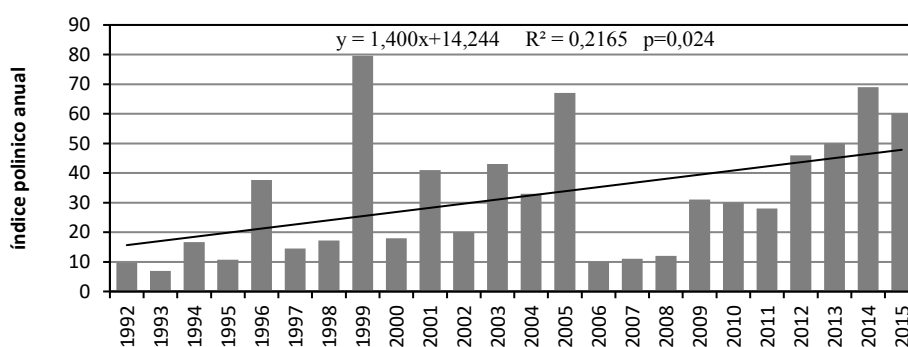
El patrón medio de las concentraciones medias diarias del polen de *Alnus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015, refleja que este tipo polínico se caracteriza por presentar una estación polínica muy marcada entre los meses invernales, de finales de diciembre hasta finales de marzo. Los máximos registros se alcanzan fundamentalmente durante los meses de enero-febrero, presentándose prácticamente la misma cantidad (Fig. 4.244).



**Figura 4.244.** Valores promedios de las concentraciones medias diarias del polen de *Alnus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.6.1.6. Estudio de tendencia

El análisis de regresión de los índices polínicos del polen de *Alnus* en la atmósfera de Málaga en los 24 años estudiados, presenta una tendencia significativa y positiva (Fig. 4.245). Esto coincide con los resultados obtenidos de la prueba de *Mann-Kendall* ( $Z=0,420$ ;  $p=0,004$ ). El parámetro pendiente de *Sen* muestra un valor positivo igual de 1,43 (Tabla 4.176).



**Figura 4.245.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Alnus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,420             | 0,004 | 1,43             |

**Tabla 4.176.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Alnus* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie estudiada (1992-2015).

#### 4.6.1.7. Discusión

El polen de *Alnus*, fundamentalmente originario de una única especie, *Alnus glutinosa*, se caracteriza por una escasa presencia en la atmósfera de Málaga, probablemente debido a la inexistencia de árboles en zonas cercanas al captador. Esto hace pensar que este polen es transportado a larga o media distancia desde la zona occidental de la provincia, o incluso desde la provincia de Cádiz (Candau *et al.*,

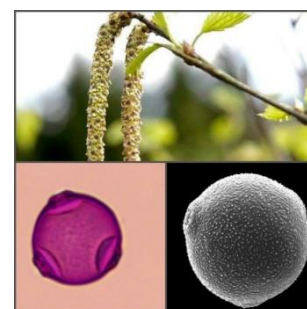
2002a), donde esta especie es más abundante. En otras localidades cercanas a Málaga capital, las cantidades registradas fueron también bajas, con índices polínicos anuales de 92 en Antequera (Recio *et al.*, 2000) y 32 en Estepona (Recio *et al.*, 2006), 33 en Nerja (Docampo, 2008). Este comportamiento es posiblemente debido, tal como ocurre en Málaga capital, a la escasez relativa de los árboles de *Alnus* en la vegetación natural en el sur de España (Cariñanos *et al.*, 2000b; Alba *et al.*, 2002; Ruíz *et al.*, 2002). Sin embargo, puesto que el Aliso es ampliamente representado en el noreste de España, los niveles de polen son más elevados en esas zonas, obteniéndose índices anuales importantes como es el caso de los valores de 2473 registrados en Oviedo (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2006), 1.784 en Ourense (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011), 1.228 en Ponferrada (González Parrado *et al.*, 2009).

La tendencia creciente de los índices polínicos anuales de *Alnus* en la atmósfera de Málaga a lo largo de los 24 años analizados, puede ser debido a la tendencia positiva observada en la velocidad media del viento en nuestra área, lo cual atraería polen de zonas más alejadas del captador ya que, como indicamos anteriormente que, las cantidades detectadas en la atmósfera de Málaga resultan del transporte a larga o media distancia.

El polen de *Alnus* ha sido citado en varias ocasiones como causa de reacciones alérgicas (Stanley & Linskens, 1974; Spieksma & Frenguelli, 1991; Ekebon *et al.*, 1996). Es responsable de polinosis en zonas del centro y norte de Europa (D'Amato, 1992; Viñas, 2002; Spieksma *et al.*, 1995), y en algunas zonas de España, concretamente Ourense, se ha documentado que llega a originar el 17% de las sensibilizaciones a polen (Iglesias *et al.*, 1998) habiendo sido la IgE específico de este tipo polínico aislada por Ruffin *et al.* (1988). Según algunos autores, presenta reactividad cruzada con los pólenes de *Betula* y *Corylus*, ambos géneros dentro de la misma familia (Weber, 2007), y con géneros de la familia Fagaceae (*Quercus* y *Fagus*) (Mathiesen *et al.*, 1991; Subiza *et al.*, 1998; Hauser *et al.*, 2011).

#### 4.6.2. Tipo polínico *Betula*

Las especies del género *Betula*, perteneciente a la familia de Betulaceae, habita en gran parte de Europa y Asia, por lo general en las regiones templadas y frías. En España, está representada en la zona norte siendo más abundante hacia occidente, con dos especies *Betula alba* L., *Betula pendula* Roth. Suele vivir en los suelos con gran permanencia de humedad, como bordes de ríos. Se emplea como árboles ornamentales, teniendo importancia económica ya que que suministran maderas comerciales. También la savia de estos árboles extraída por medio de incisiones en el tronco, se considera una excelente remedio contra las inflamaciones renales, entre otros usos medicinales.



##### 4.6.2.1. Descripción botánica

Son árboles o arbustos caducifolios de hojas sencillas, alternas. Flores unisexuales; las masculinas se dispone en amentos solitarios o en grupos de dos o de tres, las femeninas en amentos cilíndricos, solitarios. Infrutescencias cilíndricas u oblongas, péndulas, que se deshacen en la madurez. Los frutos son aquenios provistos de dos alas membranosas anchas.

#### 4.6.2.2. Época de floración/ polinización

Florece de Marzo a Junio. La polinización es anemófila.

#### 4.6.2.3. Morfología polínica

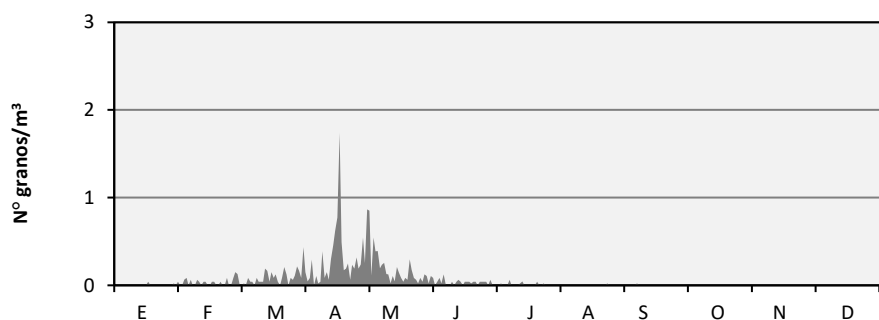
Polen trizonocolporado, isopolar, con simetría radial. De subcircular a subtriangular en visión polar. Eliptico en visión ecuatorial. Tamaño mediano. Aberturas simples de tipo poro, circuales. Exina de casi 2  $\mu\text{m}$  de grosor en la mesoporía, con sexina tan gruesa como la nexina. Téctum completo e infratectum sin columelas aparentes. Superficie granulada-equinulada, con espinulas de menos de 1  $\mu\text{m}$ , de diferentes tamaños y a veces agrupados.

#### 4.6.2.4. Variación interanual

El polen de *Betula* se considera como menos frecuente en la atmósfera de Málaga, ya que representó sólo 0,06% del total de los recuentos de polen durante el periodo estudiado (Tabla 4.177). Los índices polínicos anuales registrados fueron bajos, alcanzando un máximo de 51 en el año 1995 mientras el valor mínimo fue 1, obtenido en el año 2008. El índice polínico anual medio obtenido durante el periodo 1992-2015 fue de 20. En cuanto a las concentraciones medias diarias máximas, se caracterizan por alcanzar picos muy bajos, entre 1-13 granos de polen/ $\text{m}^3$ , excepto en el año 2007, ya que se registró un pico máximo de 29 g.p./ $\text{m}^3$ .

#### 4.6.2.5. Variación estacional

El patrón medio del periodo de polinación principal del tipo polínico *Betula*, muestra que el polen aparece mayormente en la atmósfera de Málaga durante el mes de abril y principios de mayo, mientras que durante los meses de febrero, marzo, el resto de mayo y junio, se registra de forma esporádica (Fig. 4.246).



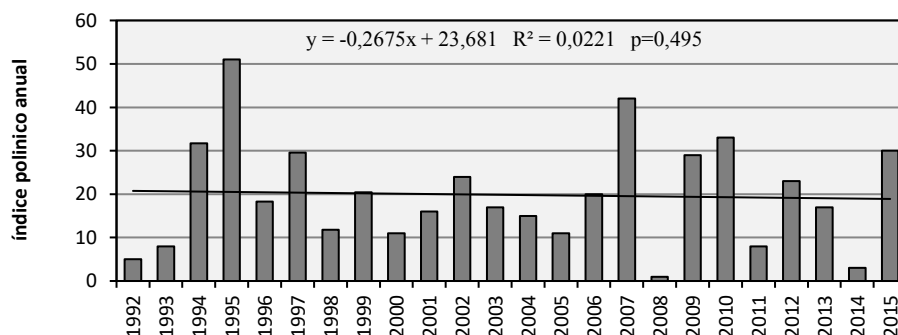
**Figura 4.246.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Betula* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 5   | 0,02    | 2  |
| 1993  | 8   | 0,03    | 2  |
| 1994  | 32  | 0,12    | 12   |
| 1995  | 51  | 0,25    | 13   |
| 1996  | 18  | 0,04    | 3  |
| 1997  | 30  | 0,05    | 6  |
| 1998  | 12  | 0,03    | 2  |
| 1999  | 20  | 0,04    | 4  |
| 2000  | 11  | 0,03    | 1  |
| 2001  | 16  | 0,04    | 2  |
| 2002  | 24  | 0,08    | 4  |
| 2003  | 17  | 0,04    | 6  |
| 2004  | 15  | 0,06    | 4  |
| 2005  | 11  | 0,03    | 2  |
| 2006  | 20  | 0,07    | 8  |
| 2007  | 42  | 0,09    | 29   |
| 2008  | 1   | 0,00    | 1  |
| 2009  | 29  | 0,07    | 5  |
| 2010  | 33  | 0,08    | 11   |
| 2011  | 8   | 0,03    | 1  |
| 2012  | 23  | 0,08    | 5  |
| 2013  | 17  | 0,04    | 2  |
| 2014  | 3   | 0,01    | 1  |
| 2015  | 30  | 0,10    | 2  |
| Media | 20  | 0,06    | 3  |

**Tabla 4.177.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Betula* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.6.2.6. Estudio de tendencia

Analizando la evolución de los índices polínicos anuales de *Betula* en la atmósfera de Málaga, se observa que no se puede destacar ninguna tendencia (Fig. 4.247), ya que aparece apenas una muy ligera pendiente negativa según el resultado de la regresión lineal, lo que coincide con aquellos datos obtenidos de la prueba de *Mann-Kendall*, ya que la pendiente de *Sen* presenta un valor nulo, indicándose la inexistencia de un patrón claro de este tipo polínico (Tabla 4.178).



**Figura 4.247.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Betula* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,004             | 1,000 | 0                |

**Tabla 4.178.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Betula* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.6.2.7. Discusión

En España, las mayores cantidades de polen de *Betula* se registran en el noroeste peninsular, así encontramos índices polínicos anuales 7105 en Santiago, 1694 en Ourense y 1618 en Lugo (Rodríguez-Rajo et al., 2011). En localidades cercanas a nuestra área de estudio, los índices polínicos anuales registrados fueron de 32 en Estepona (Recio et al., 2006) y 21 en Nerja (Docampo, 2008).

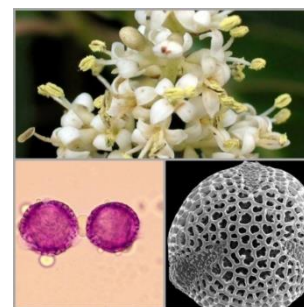
Las bajas concentraciones medias diarias detectadas, apareciendo de manera esporádica en la atmósfera de Málaga, son consecuencia del transporte a larga distancia, fenómeno descrito para el polen de Abedul (Wallin et al., 1991; Hjelmroos, 1991; Sofiev et al., 2006).

Algunos autores, como Nilsson & Persson (1981), Rodríguez-Rajo et al. (2006), Melgar (2010) describieron alternancia bianual para el polen de *Betula* pero, a la vista del comportamiento que describe la evolución de los índices polínicos anuales de este tipo polínico en Málaga, no se pudo establecer ningún patrón de estas características.

La alegenicidad del polen de *Betula* y otros miembros de la familia es bien conocida en Europa, siendo el principal alergeno en la zona noroeste y centroeuropa (Vik et al., 1991; Acevedo et al., 1998; Peternel et al., 2007). En España, los problemas de alergia a este tipo polínico tienen lugar fundamentalmente en el norte de la Península, donde este taxón es más abundante, ya que se ha documentado que, en la localidad de Ourense, el 13% de la población muestra síntomas de alergia al polen de abedul, mientras que el 1% de la población de Vigo dio positivo en pruebas cutáneas con extractos de polen de *Betula* (Arenas et al., 1996; Belmonte et al., 1998; Aira et al., 2001). Por otra parte, debido a su capacidad para ser transportado a grandes distancias, provocas reacciones alérgicas no sólo durante el periodo de polinación principal de una localidad, sino también en el periodo previo y postrior al mismo (Wallin et al., 1991; Hjelmroos, 1991). El polen de *Betula* presenta además reactividad cruzada con otras betuláceas y algunas fagáceas (D'Amato & Spieksma, 1992).

### 4.6.3. Tipo polínico *Ligustrum*

El género *Ligustrum* se incluye en la familia de *Oleaceae* y comprende unas 20 especies. Las especies más frecuentes en Málaga son *Ligustrum lucidum* Ait. y *L. ovalifolium* Sieb. & Zucc., que se utilizan como especies ornamentales en jardines y alineaciones viarias. También, debido a las propiedades astringentes que tiene las hojas, se ha empleado en medicina para detener la diarrea y apretar la dentadura.



#### 4.6.3.1. Descripción botánica

Se trata de arbustos o arbolillos caducifolios que a veces pueden llegar a alcanzar una altura superior a las 10 m. Las hojas son enteras, gruesas, de un color verde oscuro por el haz y más pálidas por el envés. Las flores son pequeñas, de color blanco, muy olorosas, agrupadas en ramilletes terminales más o menos apretados. El fruto es una baya globosa que se mantiene largo tiempo sin caer de la planta, es de color negro, carnoso y suele contener de 1 a 4 semillas.

#### 4.6.3.2. Época de floración/ polinización

La floración tiene lugar en los meses de mayo y junio. La polinización es entomófila.

#### 4.6.3.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado (colporoidado). Isopolar y radiosimétrico. Circular en vista polar y de subcircular a ligeramente elíptico en vista ecuatorial. Tamaño mediano, con eje polar de unos 26 a 30  $\mu\text{m}$ . Exina con un grosor de 3-4  $\mu\text{m}$ , con columelas y superficie reticulada. Aberturas de tipo colpo, subterminales, apareciendo a veces endoaberturas de tipo poro, difusas y no siempre apreciables.

#### 4.6.3.4. Variación interanual

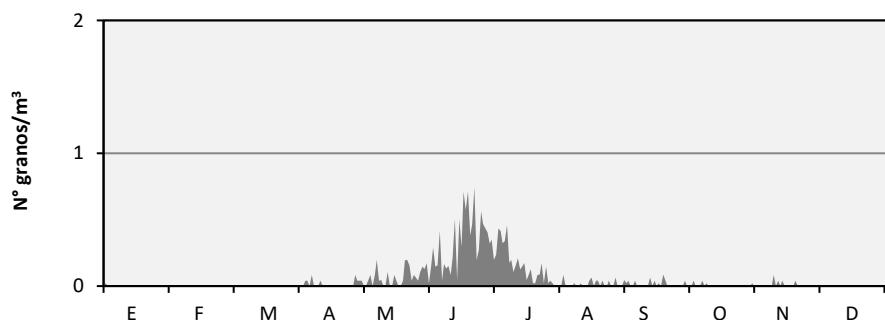
En la tabla (4.179) se muestra la dinámica del polen de *Ligustrum* en la atmósfera de Málaga durante el periodo 1992-2015. Asimismo, se observa que la contribución de este tipo polínico fue muy baja, representando sólo el 0,05% del espectro polínico anual, con un valor de 18 como índice polínico medio. Los índices polínicos anuales fueron variando de un año a otro, siendo 35 el valor más elevado, obtenido en el año 2009, mientras que el menor fue en el año 2013, con un valor de 6. En cuando a las concentraciones medias diarias máximas, éstas rara vez superan el valor medio 5g.p./m<sup>3</sup>, ya que fluctuaron entre un mínimo de 2 g.p./m<sup>3</sup> y un máximo de 9 g.p./m<sup>3</sup>.

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 30  | 0.14    | 5  |
| 1993  | 16  | 0.05    | 4  |
| 1994  | 20  | 0.07    | 8  |
| 1995  | 8   | 0.04    | 2  |
| 1996  | 16  | 0.04    | 4  |
| 1997  | 18  | 0.03    | 4  |
| 1998  | 23  | 0.07    | 4  |
| 1999  | 18  | 0.04    | 2  |
| 2000  | 21  | 0.06    | 2  |
| 2001  | 19  | 0.04    | 6  |
| 2002  | 12  | 0.04    | 2  |
| 2003  | 7   | 0.02    | 2  |
| 2004  | 16  | 0.06    | 6  |
| 2005  | 21  | 0.05    | 4  |
| 2006  | 10  | 0.04    | 2  |
| 2007  | 19  | 0.04    | 3  |
| 2008  | 34  | 0.11    | 8  |
| 2009  | 35  | 0.08    | 3  |
| 2010  | 34  | 0.08    | 8  |
| 2011  | 23  | 0.08    | 9  |
| 2012  | 9   | 0.03    | 3  |
| 2013  | 6   | 0.01    | 4  |
| 2014  | 10  | 0.02    | 5  |
| 2015  | 16  | 0.05    | 2  |
| Media | 18  | 0.05    | 5  |

**Tabla 4.179.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Ligustrum* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.6.3.5. Variación estacional

El género *Ligustrum* inicia el periodo de polinización a finales de primavera, en el mes de mayo, finalizando en el mes de julio, mientras que durante el resto de los meses especialmente, desde agosto hasta noviembre, su polen aparece de manera muy esporádica. Los mayores registros polínicos mensuales se efectúan durante los meses de junio y julio, siendo junio el de mayor intensidad (Fig. 4.248). En cualquier caso los valores detectados son siempre muy bajos.

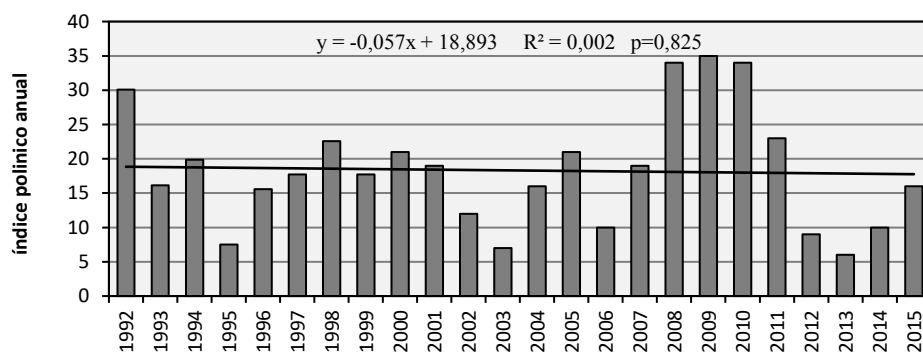


**Figura 4.248.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Ligustrum* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).



#### 4.6.3.6. Estudio de tendencia

En la figura 4.249 se muestra el patrón que siguieron los índices polínicos del tipo *Ligustrum* durante el periodo 1992-2015. El comportamiento observado refleja apenas un muy ligera tendencia negativa, que más bien se considera inexistente. Este comportamiento no resaltó ser estadísticamente significativo ( $Z=-0,048$ ;  $p=0,766$ ) (Tabla 4.180). Por otra parte, el parámetro pendiente de *Sen* confirma esta tendencia, mostrando un valor negativo ( $Q=-0,07$ ).



**Figura 4.249.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Ligustrum* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,048            | 0,766 | -0,07            |

**Tabla 4.180.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Ligustrum* en la atmósfera de Málaga, usando el test de Mann-Kendall y estimación de la pendiente de Sen, durante la serie (1992-2015).

#### 4.6.3.7. Discusión

El aligustre se encuentra con frecuencia cultivado en la ciudad de Málaga, ya que se usa como árbol ornamental o formando setos en parques y jardines. Sin embargo, al ser entomófilo, junto al tamaño y peso de sus grano de polen, a menudo formando agregados, hace que éste se libere con dificultad y se mantenga poco tiempo suspendido en el aire, por lo que su presencia en la atmósfera es muy baja o bien esporádica.

Durante el periodo 1992-2015, el índice polínico anual medio fue de 18, similar al descrito en otras localidades cercanas a Málaga, a las que se detectaron también valores anuales bajos, del orden de 14 en Antequera (Recio *et al.*, 2000), mientras fueron algo superiores en Estepona (Recio *et al.*, 2006) y en Nerja (Docampo, 2008), con valores de 29 y 35, respectivamente.

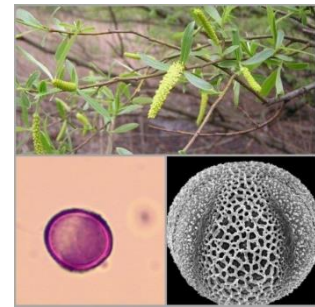
En lo que se refiere al análisis de la evolución de los índices polínicos anuales, no se pudo detectar ningún patrón claro del comportamiento de este tipo polínico en la atmósfera de Málaga.

El polen de *Ligustrum* ha sido descrito como alergógeno por diversos autores (Izco *et al.*, 1972; Domínguez *et al.*, 1984; Lewis *et al.*, 1983). Presenta reactividad cruzada con otras Oleáceas (Pajarón

*et al.*, 1997; Subiza *et al.*, 1998; Conde *et al.*, 2002; Vara *et al.*, 2016) dado que posee en su exina proteínas comunes a otras oléaceas (Bousquet *et al.*, 1984). Por otra parte, dado la floración de los aligustres coincide con el final de la floración del olivo, esto hace que, en ocasiones, los síntomas que sufren los pacientes alérgicos al olivo se alarguen durante más tiempo (Cariñanos *et al.*, 2002a) aunque, generalmente, los casos de alergia al polen de *Ligustrum* son raros. En este sentido, D'Amato *et al.* (1989) explicó que la menor capacidad alérgica de este polen junto con su escasa presencia en el aire, hace que aparezcan síntomas alérgicos sólo en situaciones de exposición local.

#### 4.6.4. Tipo polínico *Salix*

El género *Salix* forma parte de la familia Salicaceae. En Málaga esta representado por las distintas especie *Salix alba* L., *S. fragilis* L., *S. pedicellata* Desf., *S. atrocinera* Brot., *S. elagnos* Scop., *S. purpurea* L. y *S. viminalis* L. aunque la especie quizás más abundante sea *S. pedicellata*. También se encuentran cultivados ejemplares de *S. x rubens* Schrank y *S. x Chrysocoma* Dode. Los sauces suelen vivir en terrenos húmedos y profundos, con una capa freática alta, asociados generalmente con otras salicáceas. Son muy apreciados en jardenería. La madera de *salix* se emplea principalmente para la fabricación de cerillas y pequeñas esculturas. Su corteza tiene usos medicinales.



##### 4.6.4.1. Descripción botánica

Árboles, a veces arbustos, caducifolios, de hasta 8-9 m de altura, con la corteza pardo-grisácea. Hojas simples, alternas, enteras o dentadas, de color verde oscuro en el haz. Plantas unisexuales dioicas. Flores masculinas con 2-3 estambres, de libres a monoadelphos, las femeninas con ovario bicarpelar. Fruto en capsula, con dehiscencia loculicida. Semillas pequeñas, lanosas.

##### 4.6.4.2. Época de floración/polinización

La floración ocurre de febrero hasta abril. La polinización es de tipo entomófila.

##### 4.6.4.3. Morfología polínica

Polen trizonocolporado. Isopolar y radiosimétrico. Circular lobulado en visión polar, con las aberturas dispuestas entre los lóbulos y de elíptico a subcircular en visión ecuatorial. De subprolado a prolado. Tamaño de pequeño a mediano. Aberturas compuestas; ectoaberturas de tipo colpo, terminales; endoaberturas de tipo poro, a menudo difusas. Exina de 1-2  $\mu\text{m}$  de grosor. Superficie reticulada, con lúmenes decreciendo en tamaño a medida que se aproximan a los colpos y las zonas polares.

##### 4.6.4.4. Variación interanual

El tipo polínico presentó un índice polínico anual medio de 13 en la atmósfera de Málaga, representado tan sólo 0,04% del polen total durante el periodo 1992-2015. La contribución de *Salix* al

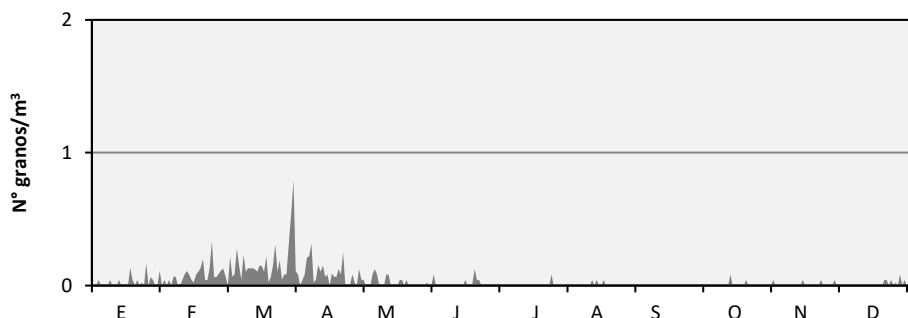
espectro polínico fue muy homogénea con porcentajes similares a la media durante casi todos los años (Tabla 4.181). Los índices polínicos anuales detectados fueron muy bajos, no superando los 27. Lo mismo ocurrió en lo que se refiere a las concentraciones medias diarias, ya que se registró una concentración máxima de 14 granos de polen/m<sup>3</sup> (año 2015), mientras la menor fue 1 granos de polen/m<sup>3</sup> en los años 1993, 1995 y 2012.

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----|---------|--|
| 1992  | 15  | 0,07    | 4  |
| 1993  | 3   | 0,01    | 1  |
| 1994  | 11  | 0,04    | 3  |
| 1995  | 6   | 0,03    | 1  |
| 1996  | 18  | 0,04    | 3  |
| 1997  | 20  | 0,03    | 3  |
| 1998  | 11  | 0,03    | 2  |
| 1999  | 16  | 0,03    | 2  |
| 2000  | 15  | 0,05    | 2  |
| 2001  | 27  | 0,06    | 4  |
| 2002  | 10  | 0,03    | 2  |
| 2003  | 5   | 0,01    | 2  |
| 2004  | 10  | 0,04    | 3  |
| 2005  | 25  | 0,06    | 14   |
| 2006  | 13  | 0,05    | 3  |
| 2007  | 14  | 0,03    | 2  |
| 2008  | 12  | 0,04    | 2  |
| 2009  | 15  | 0,04    | 5  |
| 2010  | 13  | 0,03    | 5  |
| 2011  | 13  | 0,05    | 3  |
| 2012  | 3   | 0,01    | 1  |
| 2013  | 9   | 0,02    | 2  |
| 2014  | 4   | 0,01    | 2  |
| 2015  | 12  | 0,04    | 2  |
| Media | 13  | 0,04    | 2  |

**Tabla 4.181.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/m<sup>3</sup>) del tipo polínico *Salix* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.6.4.5. Variación estacional

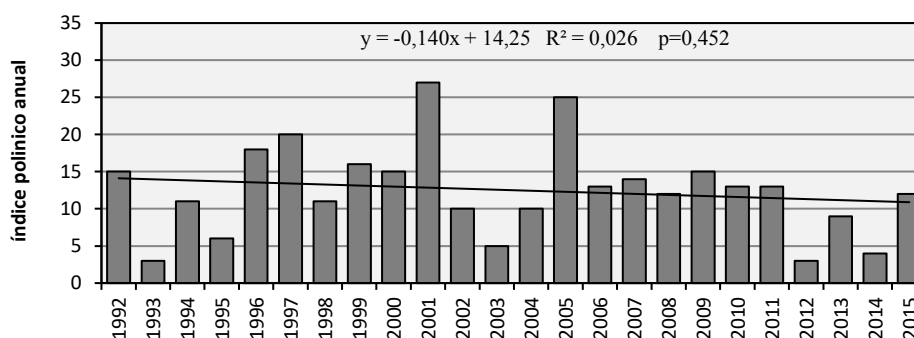
El tipo polínico *Salix* comienza a detectarse en los muestreos aerobiológicos hacia la segunda semana de enero, permaneciendo en el aire hasta el mes de junio. Durante este periodo se presenta una sucesión de pequeños picos de baja intensidad, siendo el pico máximo a finales de marzo. Cabe destacar que las concentraciones medias diarias muy bajas, lo cual no permite establecer un patrón claro de la estación polínica de este tipo en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.250).



**Figura 4.250.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Salix* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.6.4.6. Estudio de tendencia

Los índices polínicos anuales de *Salix* se ha caracterizado por presentar fluctuaciones interanuales en el periodo 1992-2015. El análisis de la evolución de dicho índice mediante la regresión lineal ha mostrado una ligera tendencia a la disminución en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.251). Este hecho ha sido confirmado también mediante la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* ( $Z=-0,147$ ;  $Q=0,332$ ). La magnitud del descenso de los IPAs fue de signo negativo, con un valor de la pendiente de *Sen* igual a  $-0,13$  (Tabla 4.182).



**Figura 4.251.** Evolución interanual del índice polínico anual del polen de *Salix* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | -0,147            | 0,332 | -0,13            |

**Tabla 4.182.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) de *Salix* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.6.4.7. Discusión

*Salix* es un género que se distribuye por el centro y norte de Europa. Se caracteriza por su rápido crecimiento, empleándose con frecuencia como ornamentales en parques y jardines. Aunque presenta

una polinización primariamente entomófila, por la presencia de néctar, ha sido descrito como aerovagante en numerosos calendarios polínicos de toda Europa, aunque las cantidades registradas, generalmente, son bajas. Sin embargo, en la ciudad de Leiden (Holanda), el polen de *Salix* llegó a representar el 4,1% del total anual (Spieksma, 1991b).

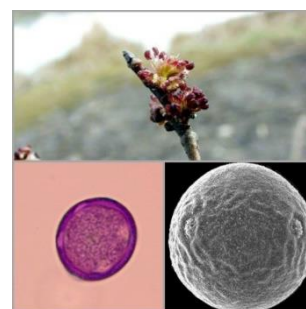
Este tipo polínico tuvo una presencia escasa en nuestra área de estudio, apareciendo de forma esporádica, con tan sólo un 0,04% de aportación en el espectro polínico total y en concentraciones muy bajas. El índice polínico anual de 13 registrando durante el periodo estudiado es similar a los de otras localidades cercanas, ya que se registraron valores de 26 y 17 en Estepona y Antequera, respectivamente (Recio *et al.*, 2006; Recio *et al.*, 2000). En el resto de las localidades de la Península Ibérica, los índices anuales son inferiores a 100, aunque en ciudades como Ponferrada (Vega *et al.*, 2002b) y León (Vega *et al.*, 2002b), los índices anuales fueron mayores a 100, y en Oviedo, superiores a 500 (Fernández-Casado *et al.*, 2002).

No se pudo establecer un patrón claro que describiera la evolución de los índices anuales del polen de *Salix* en la atmósfera de Málaga, si bien, hemos obtenido una muy ligera tendencia al descenso.

Al presentar una polinización entomófila, los granos de polen de *Salix* tienden a mantenerse unidos, dificultando su dispersión. Este motivo, unido a que presenta bajos niveles en la atmósfera pueden ser la razón que explique su baja incidencia alérgica. Sin embargo, diversos autores pusieron de manifiesto la capacidad alérgica del polen de *Salix* (Lewis *et al.*, 1983; Domínguez *et al.*, 1984; Famularo *et al.*, 1992 y Arenas *et al.*, 1996), aunque su importancia sea secundaria (Lewis *et al.*, 1983). Por otra parte, algunas especies como *Salix atrocinnerea*, son responsables de polinosis (Famularo *et al.*, 1992).

#### 4.6.5. Tipo polínico *Ulmus*

*Ulmus* es un género de la familia Ulmaceae. Se distribuye por gran parte de Europa, norte de África y Asia occidental. Suele vivir en suelos profundos, principalmente en sotos y riberas de ríos, donde se asocia con frecuencia a sauces, alisos, álamos y fresnos. En Málaga, está representado por una sólo especie *Ulmus minor* Mill. Otra especie que se puede encontrar como ornamental es *U. glabra* Hudson, aunque es menos frecuente. Las principales utilidades consisten en el uso de la madera en construcción naval, pilotes de minas, fabricación de muebles y objetos. También, se emplea en jardinería como árbol de sombra.



##### 4.6.5.1. Descripción botánica

Árboles caducifolios, robustos, hasta 30 m de altura. Tronco grueso, recto. Hojas simples, alternas, redondeadas o acorazonadas en la base, que resulta asimétrica. Las flores son hermafroditas o unisexuales monoicas, dispuestas en glomérulos, con 4-6 sépalos y estambres con anteras de color púrpura, opuestos a los sépalos. Los frutos son sámaras que parecen pequeñas hojitas, de ovales a redondeados, al principio son de color verde claro y luego se tornan verde-amarillentos antes de caer.

#### 4.6.5.2. Época de floración

Florece desde febrero a marzo. La polinización es de tipo anemófila.

#### 4.6.5.3. Morfología polínica

Polen pentazonoporado, ocasionalmente tetra- o ohexaporado. Isopolar, con simetría radial. Subcircular o subpentagonal en vista polar y elíptico en vista ecuatorial. De suboblado a esferoidal. Tamaño mediano. Aberturas simples de tipo poro, de alrededor de 2  $\mu\text{m}$  de diámetro, a veces ligeramente elípticas, bordeadas por un anillo producido por un engrosamiento de la exina; membrana apertural escábrida. Exina de aproximadamente 1,5  $\mu\text{m}$  de grosor. Superficie rugulada, con gránulos o espínulas.

#### 4.6.5.4. Variación interanual

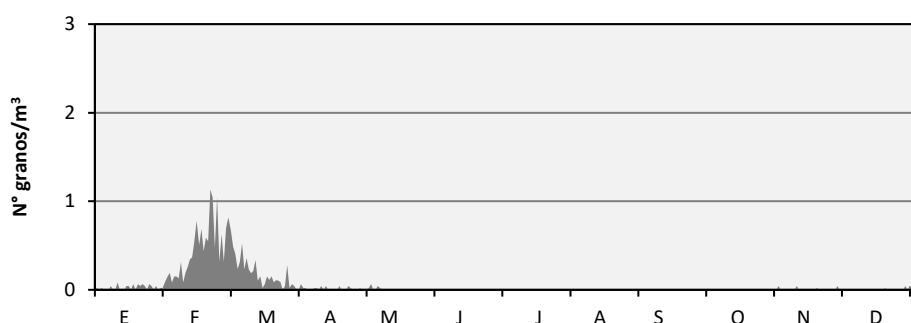
Durante el periodo 1992-2015, la aportación del tipo polínico *Ulmus* a la atmósfera de Málaga fue muy escasa, representando tan sólo el 0,06% del total polínico anual, registrándose un índice polínico medio anual de 20 (Tabla 4.183). Los índices polínicos anuales detectados fueron bajos ya que oscilaron entre 3 (año 2008) y 68 (año 1999). En lo que se refiere a las concentraciones medias diarias máximas, se observó que los picos fueron muy reducidos en la mayoría de los años analizados superando rara vez la concentración máxima media de 3 granos de polen/ $\text{m}^3$ , excepto en el año 1999, en el que se obtuvo un pico histórico de 15 g.p./ $\text{m}^3$ .

| Años  | IPA | % anual | Valor máximo diario (g.p./ $\text{m}^3$ ) |
|-------|-----|---------|---|
| 1992  | 9   | 0,04    | 2   |
| 1993  | 12  | 0,04    | 1   |
| 1994  | 12  | 0,05    | 2   |
| 1995  | 18  | 0,09    | 3   |
| 1996  | 10  | 0,02    | 2   |
| 1997  | 25  | 0,04    | 3   |
| 1998  | 9   | 0,03    | 2   |
| 1999  | 68  | 0,15    | 15  |
| 2000  | 40  | 0,12    | 8   |
| 2001  | 19  | 0,04    | 2   |
| 2002  | 8   | 0,03    | 2   |
| 2003  | 15  | 0,04    | 3   |
| 2004  | 22  | 0,09    | 4   |
| 2005  | 15  | 0,03    | 3   |
| 2006  | 24  | 0,09    | 2   |
| 2007  | 19  | 0,04    | 7   |
| 2008  | 3   | 0,01    | 1   |
| 2009  | 30  | 0,07    | 3   |
| 2010  | 19  | 0,05    | 2   |
| 2011  | 22  | 0,08    | 2   |
| 2012  | 14  | 0,05    | 6   |
| 2013  | 11  | 0,03    | 1   |
| 2014  | 15  | 0,04    | 2   |
| 2015  | 37  | 0,12    | 5   |
| Media | 20  | 0,06    | 3   |

**Tabla 4.183.** Índice polínico anual, % anual y valor máximo diario (granos de polen/ $\text{m}^3$ ) del tipo polínico *Ulmus* en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

#### 4.6.5.5. Variación estacional

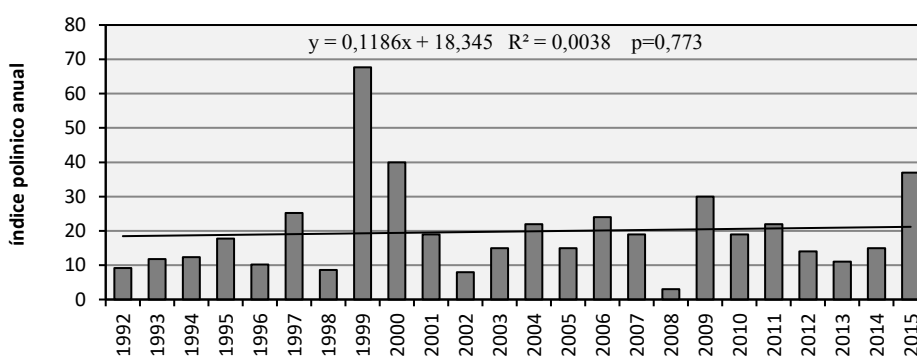
Las mayores cantidades de polen de *Ulmus* se alcanzan en la atmósfera de Málaga, como promedio, durante el mes de febrero, obteniéndose la concentración media diaria máxima en la segunda semana del mismo mes, registrando con tan sólo 1 grano de polen/m<sup>3</sup> de media. Posteriormente, los niveles disminuyen en el mes de marzo, en el que los granos de polen aparecen de forma esporádica (Fig. 4.252).



**Figura 4.252.** Valores promedio de las concentraciones medias diarias del polen de *Ulmus* en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

#### 4.6.5.6. Estudio de tendencia

A pesar de que se observó variaciones interanuales en cuanto a los índices polínicos anuales se refiere, no se pudo establecer un patrón claro de la evolución de los niveles del polen de *Ulmus* en la atmósfera de Málaga, apareciendo una muy ligera tendencia positiva en el estudio de regresión, lo que coincide con los resultados obtenidos de la prueba de *Mann-Kendall*, que en ningún caso fueron estadísticamente significativas (Fig. 4.253, Tabla 4.184)



**Figura 4.253.** Evolución interanual del índice polínico anual de *Ulmus* en la atmósfera de Málaga y línea de tendencia (1992-2015).

| Serie | Inicio | Final | n  | Mann-Kendall Test |       | Pendiente de Sen |
|-------|--------|-------|----|-------------------|-------|------------------|
|       |        |       |    | Z                 | Sig.  | Q                |
| IPA   | 1992   | 2015  | 24 | 0,136             | 0,371 | 0,26             |

**Tabla 4.184.** Análisis de la tendencia del índice polínico anual (IPA) del polen de *Ulmus* en la atmósfera de Málaga, usando el test de *Mann-Kendall* y estimación de la pendiente de *Sen*, durante la serie (1992-2015).

#### 4.6.5.7. Discusión

A pesar de presentar polinización anemófila, los niveles de polen de *Ulmus* detectados en Málaga fueron muy bajos, probablemente debido a que la mayor parte del polen procede de los ejemplares que se emplean como ornamentales en parques y jardines, que son poco frecuentes y presentan una floración escasa o incluso nula por tratarse de cultivares.

El índice polínico anual medio del polen de olmo fue 20 durante el periodo 1992-2015 en Málaga. Esto coincide con lo observado en localidades cercanas como Estpona, con un índice polínico anual 19 (Recio *et al.*, 2006) y Nerja, con 21 (Docampo, 2008). Sin embargo, difiere de lo registrado en Antequera, ya que se obtuvo un índice polínico anual más elevado, con un valor de 159 (Recio *et al.*, 2000), probablemente debido a que allí son más frecuentes los hábitats propios de estas especies.

La capacidad alergénica del olmo ha sido puesta de manifiesto en varios trabajos, ya que sus pólenes han sido descritos como alergógenos en Turquía (Güvensen & Öztürk, 2002) y Estados Unidos (Lewis *et al.*, 1983), aunque con capacidad alérgica moderada, mientras que dicha capacidad ha sido considerada baja en Holanda Driessen & Derksen (1989). En Málaga, debido a las bajas concentraciones de polen de *Ulmus* que se detectan, creemos que este tipo presenta poca relevancia en lo que se refiere su incidencia alergénica. Sin embargo, podría ser considerado como causa importante de polinosis cuando se alcanzan concentraciones elevadas, como el caso de la Dinamarca, donde es uno de los principales aerolergénos (Johson *et al.*, 1991).



#### 4.7. Calendario polínico

El calendario polínico de la ciudad de Málaga se ha elaborado siguiendo la metodología explicada en el capítulo 3, a partir de los datos diarios promediados (medias decenales) para el periodo 1992-2015, excepto para el tipo polínico *Urtica membranacea*, cuyo periodo fue de 1995-2015. En el calendario aparecen 24 tipos polínicos, los mismos que alcanzaron una media decenal superior a 1 grano de polen/m<sup>3</sup>, habiéndose colocado en la gráfica según el orden cronológico de aparición de sus niveles máximos. En primer lugar, se observan los tipos típicamente invernales, como *Mercurialis*, Cupressaceae y *Parietaria*, si bien el periodo de polinación de estos dos últimos comienza en el otoño del año anterior. Estos tipos polínicos están presentes en la atmósfera de la localidad durante buena parte del año. En el primer caso, los valores máximos se alcanzan durante el invierno y en el segundo caso, a finales del invierno y durante la primavera. *Populus* también tiene representación en el calendario polínico invernal, aunque en concentraciones bajas.

Encontramos también que hay tipos polínicos que marcan su aparición durante el invierno, en el mes de febrero, como el caso de *Pinus*, *Urtica membranacea* e incluso Chenopodiaceae-Amaranthaceae, aunque los niveles máximos se detectan a menudo durante la primavera, extendiéndose hasta finales de la misma o incluso durante la época estival para este último. Durante el mes de marzo, junto con los anteriores, es el polen de *Platanus* el que alcanza sus máximos valores.

Posteriormente, a finales de invierno las concentraciones de polen en general comienzan a ascender paulatinamente y encontramos un gran número de tipos polínicos en la atmósfera de Málaga, la mayoría de ellos están considerados como típicos de primavera por ser ésta la estación del año en la que alcanzan los mayores niveles. Dentro de este grupo, y en orden de aparición, aún nos encontramos con cantidades importantes de *Pinus* y *Platanus*, a los que les suceden *Quercus*, *Rumex*, *Olea*, Poaceae y *Plantago*, si bien hay muchos tipos polínicos que aún continuarán detectándose en la atmósfera, durante buena parte del verano, con niveles bajos. A los anteriores, se les sumaron tipos menos abundantes, pero propios también de la primavera como *Pistacia*, Palmae, *Erica*, *Echium* y Compositae.

En el tránsito entre la primavera y el verano encontramos, tipos con un periodo de polinación corto, que son considerados típicos del periodo estival, como Apiaceae, Cyperaceae, *Castanea*, *Parkinsonia*, Myrtaceae. Por último, aunque en otoño, se detecta la presencia de tipos polínicos cuyas concentraciones máximas se registran en otras estaciones del año. Sólo podría ser considerado típico de otoño, el polen de *Casuarina*, marcando su presencia especialmente durante el mes de octubre, en el que se registran los mayores niveles de concentración. Otros pólenes presentes en el espectro otoñal son *Artemisia*, Cupressaceae, *Parietaria* y *Urtica membranacea*.

Los meses en los que aparecen un mayor número de tipos polínicos representados en el calendario son abril, mayo y junio, con 18, 20, y 17 tipos polínicos, respectivamente, seguidos de los correspondientes meses inmediatamente anterior y posterior, marzo, con 15, y julio, con 10. Por el contrario, los meses con menor cantidad de tipos polínicos son los que van de agosto a enero, ambos inclusive, con entre 3 y 5 tipos polínicos distintos.

En cuanto a los tipos polínicos con mayor permanencia en la atmósfera de Málaga, según su representación en el calendario polínico, destacaremos a *Parietaria*, presente durante los 12 meses del

## Resultados

---

año, seguido de Cupressaceae, Chenopodiaceae-Amaranthaceae y Olea, con 10, 8 y 7 meses de presencia, respectivamente, siendo *Olea*, seguido de Cupressaceae, *Quercus*, Poaceae, *Parietaria* y *Platanus*, los tipos polínicos que alcanzan niveles más elevados, con alturas correspondientes a 9 (*Olea*), 6 (Cupressaceae y *Quercus*) y 5 (Poaceae y *Parietaria*) clases de nivel en el calendario.



### 4.8. Comparación de metodologías de recuentos de polen

En relación con el estudio de tendencias de los diferentes tipos polínicos a lo largo de un determinado periodo de tiempo y su posible relación con el cambio climático, es importante poder comparar los resultados obtenidos con los de otras estaciones aerobiológicas situadas en diferentes áreas de estudio. Para ello, las metodologías seguidas tanto para el muestreo de polen, así como para la realización de los recuentos, deben ser comparables.

Este presente apartado aborda un estudio comparativo, como se ha mencionado en el capítulo “material y métodos”, entre los métodos de recuento utilizados por las dos redes de monitorizaje aerobiológico más importantes que operan en el área mediterránea. Dicho estudio se llevó a cabo durante la estancia realizada en el departamento de Biología Ambiental, Università de la Sapienza (Anexo 2).

Las estaciones pertenecen a dos redes que operan en Europa, la Red Española de Aerobiología (REA), y en Italia, la Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia (RIMA). La metodología de la REA, consistente en la lectura de 4 barridos longitudinales por preparación, se utiliza en la mayor parte de Europa. Sin embargo en Italia, que cuenta con una de las redes más importantes de la cuenca mediterránea, se utiliza otra metodología, siendo 6 los barridos que se realizan.

Dicho estudio se centró en la comparación de las concentraciones medias diarias de los tipos polínicos más abundantes durante un periodo de 40 días de muestreo aerobiológico correspondiente al año 2015. Un total de 10 muestras fueron seleccionadas correspondiente a 10 días consecutivos de muestreo para cada una de las estaciones del año: otoño, invierno, primavera y verano. Con el fin de buscar el grado de asociación entre las dos series de datos obtenidos, así como si había o no diferencias significativas entre ambas, se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de regresión, la prueba de correlación de *Spearman*, y el test de *Wilcoxon*.

En general, hemos observado un alto grado de asociación entre las dos series de datos estudiados, mediante las pruebas de *Spearman* y la regression lineal con coeficientes de correlación altamente significativos entre los taxones analizados en otoño (*Urticaceae*, *Mercurialis* y *Amaranthaceae*), invierno (*Cupressaceae*, *Urticaceae* y *Corylus*), primavera (*Betulaceae*, *Cupressaceae*, *Fraxinus*, *Morus*, *Pinus*, *Platanus*, *Populus* y *Quercus*) y verano (*Urticaceae* y *Amaranthaceae*), así como para los índices polínicos totales obtenidos durante los períodos estacionales. Sin embargo, estos resultados no siempre fueron confirmados mediante la prueba de *Wilcoxon*. Asimismo, aunque no hemos observado diferencias significativas tanto en la comparación del polen total como en los tipos polínicos más abundantes (*Cupressaceae* y *Urticaceae*), hubo otros tipos de polen minoritarios donde aparecieron diferencias significativas. Las tablas y las gráficas se detallan en el correspondiente artículo adjuntado en el anexo.

Los resultados obtenidos, nos lleva a confirmar que las dos metodologías se pueden usar indistintamente, aunque sería conveniente para las diferentes redes, dentro de Europa, estandarizar y unificar metodologías para seguir los mismos procedimientos operativos.



## 5. DISCUSIÓN GENERAL



Dado que se ha realizado una discusión parcial en cada uno de los apartados anteriores, nos limitamos en este capítulo a comentar algunos aspectos generales sobre la climatología y el comportamiento general en lo que se refiere a la evolución y la dinámica del contenido polínico en la atmósfera de Málaga, así como su relación con los parámetros meteorológicos durante el periodo analizado (1992-2015).

### 5.1. Variables meteorológicas. Tendencias

Dado que en el apartado 4.1.5, se recoge un resumen de los aspectos meteorológicos más relevantes para la ciudad de Málaga durante el periodo estudiado, vamos a comentar algunos aspectos generales de la meteorología.

Como señala Rivas-Martinez (1987), la ciudad de Málaga, situada dentro de la región Mediterránea, presenta un clima de tipo templado mediterráneo, caracterizado por inviernos suaves, libres de heladas, con una temperatura anual media en torno a los 18,5 °C y una precipitación anual media de unos 510 mm anuales. Más específicamente, durante el periodo estudiado (1991-2015), el comportamiento de los datos meteorológicos observados corresponde, en su mayoría, al registrado en otras localidades en la región mediterránea (Frenguelli *et al.*, 2014a).

En lo que se refiere a la evolución de los principales parámetros meteorológicos, observamos que aquellos en los que hay una tendencia más significativa son los relacionados con las temperaturas tanto máxima como media y mínima, pero sobre todo en el caso de la temperatura mínima (Fig. 4.1). Este último parámetro propicia una tendencia significativa y negativa entre las diferencias  $T^a \text{ max} - T^a \text{ min}$ . Lo mismo ha sido puesto de manifiesto por otros autores como (Cariñanos *et al.*, 2004; De Castro *et al.*, 2005; Fernández-González *et al.*, 2005; Damialis *et al.*, 2007; Jato *et al.*, 2009; García-Mozo *et al.*, 2011; Ghitarrini *et al.*, 2017), lo que nos lleva a admitir que nos encontramos un escenario de cambio climático debido al calentamiento global.

Por otra parte, no se ha observado apenas tendencias en el caso de la precipitación, si bien aparecen los altibajos típicos de la región mediterránea en lo que a las cantidades anuales se refiere (Fig. 4.4). En cuanto a la evolución estacional, se ha observado un comportamiento homogéneo con dos periodos de lluvia que transcurren de octubre a noviembre y de marzo a abril, acompañados de un periodo de estrés hídrico prolongado que transcurre entre los meses de mayo a septiembre, ambos inclusive, periodo en el que muchas plantas anuales sufren un proceso de agostamiento paulatino, mientras que las perennes presentan un periodo de reducción drástica de su periodo de floración, favorecido también por las altas temperaturas del verano, cuyas máximas diarias a menudo superan los 40°C. No debemos olvidar tampoco las variaciones interanuales de las cantidades de lluvia registradas y la torrencialidad de las lluvias registradas en Málaga, junto con la heterogeneidad en cuanto al número de días de lluvia a lo largo de los años analizados, similar al descrito en otras localidades andaluzas (Pita, 2003; De Casto *et al.*, 2005).

Por su parte, los resultados obtenidos para el parámetro horas de sol, coincide con el patrón general observado en lo que se refiere al principal parámetro de calor, las temperaturas (Fig. 4.6). Asimismo, se observa un aumento positivo de las horas de sol en nuestra área de estudio. Sin embargo, esta tendencia no es significativa y su justificación puede ser debido a la disminución de la nubosidad



(índice disminución de la nubosidad) que está relacionado, en parte, con el descenso de la humedad relativa, que presenta una tendencia significativa.

En lo que se refiere al régimen de vientos que caracteriza nuestra zona de estudio, podemos ver que, si bien aparecen tendencias positivas en el caso de la frecuencia de los vientos del primer y tercer cuadrante, éstas no son significativas, probablemente debido a que dichos vientos son, en general, escasos en Málaga. Por otra parte, se observa un aumento de la frecuencia del viento del segundo cuadrante, en detrimento del cuarto cuadrante, que tiende al descenso, así como también tienden al descenso los periodos de calma. Por otra parte, hay que resaltar la importancia de la situación geográfica ya que, al estar Málaga situada al borde del mar, existe un fenómeno de brisa/contrabrisa asegurando un movimiento cíclico y constante del aire.

Las tendencias encontradas en el régimen de vientos, y que aquí describimos, nos lleva a pensar que el calentamiento global, no sólo tiene como consecuencia un aumento de las temperaturas, sino que puede traer asociados también cambios en la distribución de los vientos relacionados con las oscilaciones de presión en el atlántico norte (NAO) (Gallego *et al.*, 2005).

Por último, debemos tener en cuenta que es lógico que aparezcan tendencias no significativas en el análisis de algunos de los parámetros meteorológicos, ya que estamos ante un fenómeno de cambio climático prolongado en el tiempo y que, si bien la serie temporal analizada fue de 25 años, dicho cambio no se produce de manera drástica.

## 5.2. Comportamiento general del polen en la atmósfera de Málaga

Por lo que respecta al comportamiento del polen total, se ha discutido en detalle en el capítulo correspondiente de forma que en este apartado nos limitamos a abordar aspectos generales.

Al considerar la evolución de los diferentes tipos polínicos que forman parte del espectro total de la atmósfera en nuestra área de estudio, los resultados de la presente Tesis muestran la estabilidad y la presencia continua durante el periodo estudiado de 36 tipos polínicos (Tabla 4.10), la mayoría de ellos procedentes de plantas propias del área mediterránea. No obstante, se observa una clara dominancia del polen procedente de árboles sobre el que emiten las hierbas tal como se muestra en la figura 5.1, en la que aparece la dinámica de ambos grupos en la atmósfera de Málaga. Se ha registrado un índice polínico total de polen de leñosas (árboles y arbustos) de 601.806, mientras que el de herbáceas no superará el valor de 211.747. Esta superioridad numérica relativa al polen de plantas leñosas se debe sobre todo a la distribución de la vegetación a nivel local y a la abundancia de las especies ornamentales como Cupressaceae, *Platanus* y *Casuarina*; agrícolas como *Olea europaea* o forestales como *Quercus*, *Pinus* o Myrtaceae, que presentan una elevada incidencia en el espectro polínico de Málaga. Un comportamiento similar, en lo que se refiere a la representación relativa de ambos grupos fue descrito en otras localidades del sur de España, como Almería, Granada o Jaén (Alba & Díaz de la Guardia, 1996; Ruiz *et al.*, 2002) donde se observó un claro dominio de los taxones leñosos con relación a los herbáceos.

Si observamos la dinámica general del contenido polínico en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado, se observa que aparecen variaciones interanuales a lo largo de los diferentes años analizados, con índices polínicos anuales con tendencia a ser un poco más elevado en los años impares,



aunque, si nos fijamos en el periodo 2011-2015, esta alternancia aparece de menor medida, probablemente debido al efecto del estrés hídrico causado por la disminución de las lluvias en dichos años (Tabla 4.4). En cuanto a tendencias se refiere, se observa que los tipos polínicos del grupo leñosas muestran una ligera tendencia al aumento de los índices polínicos anuales en nuestra área de estudio (Fig. 5.2), con variaciones interanuales que presentan un ritmo bianual, al contrario de lo que sucede en el caso de las herbáceas que muestran una tendencia negativa, indicando una disminución paulatina de los niveles de polen en la atmósfera de Málaga, si bien las variaciones interanuales fueron menos marcadas que los de las leñosas, no presentando alternancia bianual.

Evidentemente, el comportamiento de estas dos series viene marcado por comportamiento seguido por los tipos polínicos más abundantes en la atmósfera de Málaga, como son *Olea europaea*, Cupressaceae y *Quercus*, en el caso de las leñosas y de Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Poaceae y *Parietaria*, en el caso de las herbáceas.

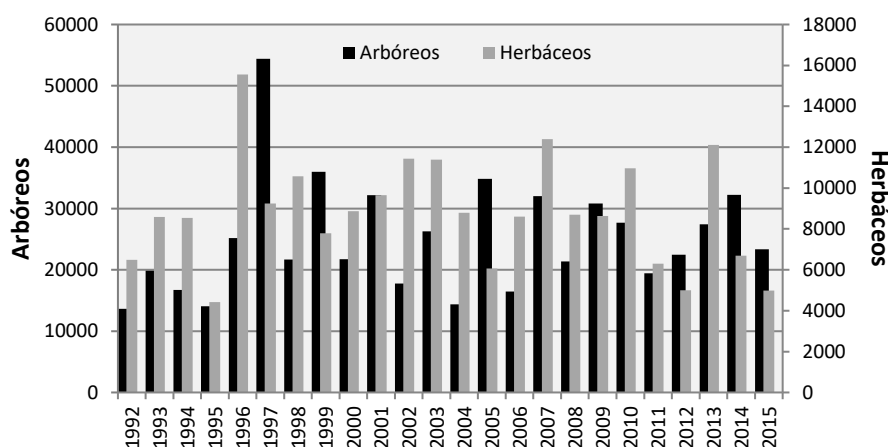


Figura 5.1. Índices polínicos anuales del polen de herbáceos y arbóreos registrados en la atmósfera de Málaga durante el periodo estudiado (1992-2015).

No obstante, de forma específica estudiando cada tipo por separado, se ha observado diferentes tendencias de los índices polínicos anuales en Málaga (IPAs). Asimismo, al tratar de caracterizar el comportamiento de los tipos polínicos más relevantes de las leñosas, el polen de *Olea*, *Quercus* y *Platanus* muestran una tendencia al alza de los índices polínicos anuales, mientras que pasa lo contrario en los casos de *Casuarina*, *Pinus*, Cupressaceae y Myrtaceae, que presentaron un descenso de sus niveles. Cabe mencionar que, en el caso del tipo polínico *Casuarina*, el patrón observado podría haberse visto especialmente afectado, por el cambio de la ubicación del captador en el año 2000, dando lugar a notables diferencias tanto en los índices polínicos anuales como índices de distribución intradiaria (Gharbi *et al.*, 2015).

Los índices polínicos anuales pueden ser de gran utilidad en el campo de la Agronomía y del Medio Ambiente, dado el interés económico de la especie *Olea europaea* (Pérez-Badia *et al.*, 2010; Oteros *et al.*, 2014; Martínez-Bracero *et al.*, 2015; Rojo *et al.*, 2015b) y, por otro lado, al forestal y ecológico de las distintas especies de *Quercus* (García-Mozo *et al.*, 2008; Pérez-Badia *et al.*, 2013), pudiendo ser utilizado como indicadores de la previsión de producción anual de frutos en estas especies.

No obstante, las diferencias observadas pueden ser un indicador de del desarrollo de mecanismos de adaptación por parte de las plantas a las fluctuaciones del clima mediterráneo y los periodos prolongados de sequía, como el caso de *Olea* y *Quercus* o pueden ser debidas a la acción del hombre y a sus estrategias de planificación de parques y jardines en relación con el uso de determinadas plantas cultivadas como el caso del plátano de sombra o de los cipreses, por poner algunos ejemplos.

Por otra parte, en lo que se refiere las plantas herbáceas, se observó una tendencia general de descenso en los índices polínicos en nuestra área de estudio (Fig. 5.3), si bien de forma específica encontramos patrones diferentes. En este sentido, sólo *Parietaria* no presentó ningún patrón claro en cuando a la dinámica aerobiológica de los índices polínicos anuales (Fig. 4.83), ya que se ha mantenido estable, sin tendencia a incrementarse ni a disminuir, a diferencia del tipo polínico *Urtica membranacea* (Fig. 4.174) y Poaceae (Fig. 4.135) que muestran una tendencia al alza de los registros polínicos en la atmósfera de Málaga. Este comportamiento nos lleva a pensar que cada planta reacciona de manera diferente a las fluctuaciones de los parámetros meteorológicos.

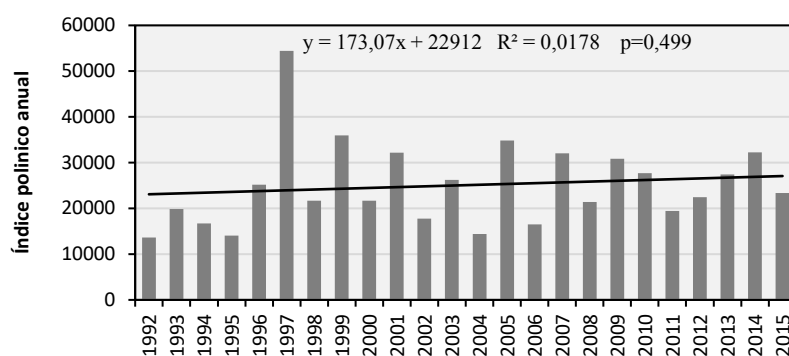


Figura 5.2. Evolución los índices polínicos de los leñosos y línea de tendencia en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

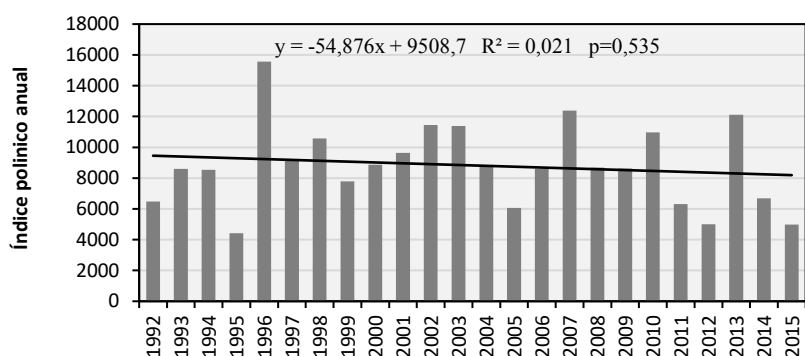


Figura 5.3. Evolución los índices polínicos de los herbáceos y línea de tendencia en la atmósfera de Málaga (1992-2015).

### 5.3. Estudio de tendencias en las concentraciones polínicas

#### 5.3.1. Metodología estadística empleada para detección de tendencia

Los estudios aerobiológicos enfocados en la detección de tendencias relacionadas con el cambio climático en series de datos a largo plazo, tradicionalmente han asumido que los datos de polen

aerotransportados siguen una distribución normal (Frei 1998; Clot 2003; Tedeschini *et al.*, 2006). Pero esta suposición no es válida para todos los taxones y zonas de muestreo (Fernández-Llamazares *et al.*, 2014). Por esta razón, además del análisis de regresión lineal clásico, que asume la normalidad de los datos, realizamos un análisis no paramétrico, que no requiere un tipo de distribución en particular. En este sentido, Önöz y Bayazit (2003) muestran que, las pruebas no paramétricas tienen una potencia sustancialmente mayor, es decir la probabilidad de detectar correctamente una tendencia, que la prueba del análisis de regresión lineal. En nuestro caso, hemos utilizado la prueba de *Mann-Kendall* (Kendall 1938; Mann 1945). Por otra parte, la estimación de la magnitud de la tendencia se realizó mediante el estimador de la pendiente de *Sen* (Sen, 1968). Al comparar las dos pruebas, aparecen resultados similares en la detección de signo de las tendencias. Sin embargo, al comparar los resultados de la pendiente de *Sen* y de la regresión lineal, aparecen diferencias en lo que se refiere a la estimación de magnitud. Resultados similares han sido obtenidos por Fernández-Llamazares *et al.* (2014), al estudiar las tendencias de los diferentes tipos polínicos en Cataluña, comparando métodos paramétricos con no-paramétricos. Asimismo, estos autores afirman que con excepción de aquellos casos hipotéticos en los que los datos aerobiológicos pueden modelarse adecuadamente mediante una distribución normal, sería conveniente aplicar métodos estadísticos no paramétricos para la detección de tendencias monotónicas. En particular, se prefiere el estimador de *Sen* sobre el cálculo de la pendiente mediante regresión lineal para predecir los perfiles futuros de las tendencias bioclimáticas.

Por otra parte, teniendo en cuenta los resultados de las tendencias, podemos observar que hemos obtenidos muy pocos resultados significativos tanto con la regresión lineal como el test de *Mann-Kendall*. En este sentido, Fernández-Llamazares *et al.* (2014), explicaron que en regiones como la nuestra, caracterizada por con una gran diversidad de plantas y de micro climas, es más difícil obtener resultados significativos que en áreas, con un espectro aerobiológico mucho más homogéneo, lo que explica por qué los estudios aerobiológicos trans-europeos, rara vez, encuentran resultados significativos para la Península Ibérica, incluso al analizar una amplia base de datos y en diferentes puntos de muestreo (Ziello *et al.*, 2012). Esto nos lleva a presumir que, la influencia del cambio climático en la dinámica del polen atmosférico debe estudiarse teniendo en cuenta las características de una región determinada o el tipo de plantas a incluir en estudio.

El comportamiento polínico general experimentó algunas variaciones en los parámetros frecuentemente utilizados para caracterizar la estación polínica: inicio, final, duración, día y valor pico. Para el estudio del PPP, como queda comentado en la metodología, se incluyó el 95% del total anual de granos de polen, dejando al inicio y al final el 2,5% de polen anual cuantificado. Los tipos polínicos que alcanzaron el nivel de abundancia suficiente para ser sujetos de evaluación de la dinámica aerobiológica, han sido 13, los mismos considerados en los trabajos previos realizados en nuestra localidad (Recio *et al.*, 1998; Melgar, 2010). En general, las variaciones obtenidas se deben a las fluctuaciones interanuales de los parámetros meteorológicos tales como la temperatura, humedad relativa, precipitaciones o la dirección y velocidad de los vientos (Summerfield *et al.*, 1997; Cenci & Ceschia, 2000) que influyen tanto en el desarrollo de las plantas y de los brotes florales, así como en la fenología de la floración de las diferentes especies (Van Vliet *et al.*, 2002).

### 5.3.2. Inicio, final y duración del PPP

En nuestra área de estudio y durante el periodo analizado, se ha observado una tendencia a adelantarse el **inicio del periodo de polinación** principal de las especies arbóreas en los tipos polínicos *Casuarina*, Cupressaceae, Myrtaceae y *Olea*, mientras que se aprecia una ligera tendencia al retraso para los tipos polínicos *Pinus*, *Platanus* y *Quercus* (Tabla 5.1). Sin embargo, en lo que se refiere a las plantas herbáceas, se observan tendencias al retraso en los casos de Chenopodiaceae-Amaranthaceae, *Parietaria* y Poaceae mientras que tiende a adelantarse en los casos de *Plantago*, *Rumex* y *Urtica membranacea*. La fecha de inicio del PPP se considera un dato clave tanto para los pacientes alérgicos como para los profesionales en el campo de la agronomía cuando se trata de plantas con interés económico. Los resultados obtenidos en este trabajo revelan una clara relación entre el comienzo de la estación polínica y el comportamiento de las temperaturas, así como de la lluvia, en nuestra localidad. La dinámica gradual en las fechas de inicio de polinación en diferentes zonas de Europa ha sido descrita en trabajos que cuentan con series temporales de más de 20 años de datos polínicos, como en España (Recio *et al.*, 2010; Tormo-Molina *et al.*, 2010; Velasco-Jiménez *et al.*, 2017), Suiza (Clot, 2003), Italia (Ghitarrini *et al.*, 2017), por poner algunos ejemplos. Por ello, las tendencias observadas, se ha atribuido al cambio climático global que está provocando un aumento de temperatura que presenta un efecto más pronunciado en algunas especies. Algunos autores señalaron que las plantas arbóreas tienden a reaccionar más fuertemente al cambio climático que de las herbáceas (Clot, 2003; Marka *et al.*, 2011). Esto podría deberse al hecho de que, para las especies leñosas, la temperatura es el factor que afecta más el desarrollo de las yemas florales (Gálan *et al.*, 2005), mientras que para las especies herbáceas en el área mediterránea (Emberlin *et al.*, 2000), el desarrollo y la floración dependen más del régimen de lluvias y del fotoperiodo.

Por otra parte, en la base de las tendencias observadas, ya sea adelanto o retraso de la fecha de **inicio del PPP**, a lo largo del tiempo, podemos observar un comportamiento diferente frente al aumento de las temperaturas entre los taxones del mismo grupo de plantas, por lo resulta difícil generalizar un patrón único ya sea para herbáceas o para arbóreas.

Si tenemos cuenta de la dinámica de las fechas del **final de PPP**, se observa que aparece un patrón claro a retrasarse en los tipos polínicos *Casuarina*, Cupressaceae, *Olea*, *Pinus*, *Plantago*, *Platanus*, *Quercus*, *Rumex* y *Urtica membranacea*, mientras que tienden a adelantarse en el caso de *Parietaria* y Poaceae (Tabla 5.1). El comportamiento general descrito mostró ligeras tendencias, al observar los valores de la pendiente de *Sen*. Sin embargo, apenas aparece tendencia de retraso en el caso de Chenopodiaceae-Amaranthaceae y Myrtaceae. Las lluvias acaecidas durante el otoño y parte del invierno, unido a unas temperaturas más cálidas, podría haber favorecido el alargamiento de las estaciones polínicas dando lugar a un retraso del final del PPP en los taxones con floración primaveral. Sin embargo, *Parietaria* y Poaceae, podrían verse especialmente afectadas por la escasez o ausencia de precipitaciones en los meses de mayo-junio, ya que es importante no sólo valorar la cantidad de lluvia estacional y pre-estacional, sino también el número de días de lluvia, habiéndose observado que, en Málaga, hay una disminución las cantidades de lluvia registradas en los meses de mayo-junio (Tabla 4.5) así como también en el número de días con precipitación (Fig. 4.4).

Como consecuencia de los parámetros anteriores, la **duración del PPP** de los tipos polínicos estudiados presentó un alargamiento excepto para los tipos polínicos Poaceae y *Parietaria*, que

presentan una tendencia a un acortamiento de la estación polínica principal en la atmósfera de Málaga (Tabla 5.1).

Un aspecto importante vinculado con el efecto de los parámetros meteorológicos sobre el comportamiento estacional de los diferentes tipos polínicos, es la metodología utilizada para el cálculo del PPP. En el caso de Poaceae, un comportamiento similar al aquí presentado en cuanto a la duración de la estación polínica de gramíneas, ha sido observado por Recio *et al.* (2010) al evaluar el periodo 1992-2007. Esta tendencia contrasta con la observada por García-Mozo *et al.* (2010a), en la que registraron para la misma localidad una ligera tendencia al alza. Estas diferencias probablemente se deben al método de cálculo del PPP, ya que nosotros basamos en el método de Anderson (1991), mediante el cual se incluye en el PPP el 95% del total anual de granos de polen, dejando al inicio y al final el 2,5% de polen, mientras que García-Mozo *et al.* (2010a) utilizaron como inicio el primer día con al menos 5 g.p./m<sup>3</sup>, seguido de al menos 3 días con esa misma concentración o superior y el primer día sin granos de polen de gramíneas, siempre y cuando no se hubiera producido por motivo de la lluvia, como punto final del PPP.

En relación con la metodología utilizada, conviene señalar que al tomar 95% del total anual, estamos perdiendo datos relevantes de los días en aquellos años con alto contenido polínico. Sin embargo, ocurre lo contrario en años donde el contenido polínico es más bajo, tomándose en cuenta, como consecuencia, días en los que las concentraciones medias diarias son muy bajas. No obstante, puesto que estamos trabajando como una serie temporal larga y tratamos de analizar el comportamiento de 13 tipos polínicos diferentes, la metodología aplicada parece ser la mejor, ya que al trabajar con porcentajes se tiende a estandarizar los resultados. En el caso del estudio de un taxón determinado, tal vez sería mejor inclinarse por el uso de otros criterios, o bien tratar por separado los años de mayor y menor registros, ya que hemos encontrado casos de tipos polínicos con gran variabilidad interanual en cuanto al índice polínico del PPP.

Desde un punto de vista general, la dinámica de la duración del PPP en Málaga se muestra más estable, con un porcentaje de variación bajo, igual al 8%, en comparación con el presentado en Córdoba y Granada, que alcanzan el 13 y 16% respectivamente (Belmonte *et al.*, 1999; Alcázar *et al.*, 2009).

Por otra parte, además de los factores comentados anteriormente, las fluctuaciones observadas dentro de un territorio en cuanto al comportamiento del polen atmosférico se refiere, puede ser también reflejo de la naturaleza de la planta en cuestión, dado que muchas viven en comunidades nitrófilas de solares abandonados, escombreras y terrenos baldíos, así como en cultivos con suelos nitrificados húmedos, de tal manera que la abundancia y producción de polen van a depender en gran medida de las características antrópicas de cada ciudad y sus alrededores, así como de iniciativas urbanísticas. En cuanto a los árboles, muchos de ellos también están sujetos a las actuaciones realizadas por el hombre. Muchos de estos aspectos ya han sido discutidos en los capítulos correspondientes.

### 5.3.3. Fecha y concentración del día pico

La concentración máxima de polen que se detecta en un día o “valor pico” (VP), es un parámetro importante para conocer la severidad de la estación. El efecto positivo de la temperatura sobre las emisiones polínicas y las concentraciones máximas alcanzadas en la atmósfera de ambos grupos de plantas, tanto herbáceos como leñosos, ha sido puesto de manifiesto por numerosos autores (Recio *et*

al., 1997; Galán *et al.*, 2000; Jato *et al.*, 2000). Asimismo, resulta lógico que, en muchos de los tipos polínicos estudiados en nuestra localidad, el incremento de las concentraciones máximas diarias, se corresponda con un aumento de los índices polínicos. Esto se ha observado en el caso de Poaceae, *Parietaria*, *Platanus*, *Rumex* y *Urtica membranacea*. Por otro lado, si tenemos la tendencia de las fechas en las que se obtuvieron los valores picos, sólo Myrtaceae, *Pinus*, Poaceae y *Rumex*, presentaron una tendencia al adelanto de las mismas. Este efecto pudo estar ocasionado por el aumento significativo de las temperaturas registradas en el periodo previo a la fecha en que se registraron los picos máximos (Tabla 4.3), lo que provocó la dehiscencia masiva de las anteras y consecuente liberación de polen a la atmósfera. Por otra parte, cabe destacar que los tipos polínicos *Olea* y *Quercus* presentaron el mayor grado de estabilidad en lo que se refiere a las concentraciones máximas y la evolución de las fechas de los picos en la atmósfera de Málaga (Fig. 4.75). Este comportamiento puede estar debido a que se trata de dos taxones típicamente mediterráneos perfectamente adaptados a las condiciones climáticas de nuestra localidad.

|           | Tipo polínico       | IPA | Duración | Inicio | Final | Día pico | Pico (g.p./m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------|-----|----------|--------|-------|----------|-----------------------------|
| Leñosas   | <i>Casuarina</i>    | -*  | +        | -      | +     | +        | -                           |
|           | Cupressaceae        | -   | +        | -      | +     | +        | -                           |
|           | Myrtaceae           | -*  | +        | -*     | +     | -        | -*                          |
|           | <i>Olea</i>         | +   | +        | -      | +     | +        | +                           |
|           | <i>Platanus</i>     | +   | +        | +      | +     | +        | +                           |
|           | <i>Pinus</i>        | -   | +        | +      | +     | -        | -                           |
|           | <i>Quercus</i>      | +   | +        | +      | +     | +        | +                           |
| Herbáceas | Chenop-Amar.        | -*  | +        | +      | -     | +        | -                           |
|           | <i>Parietaria</i>   | +   | -        | +      | -     | +        | +                           |
|           | <i>Plantago</i>     | -*  | +        | -      | +     | +        | -                           |
|           | Poaceae             | +   | -        | +      | -     | -        | +                           |
|           | <i>Rumex</i>        | -   | +        | -      | +     | -        | +                           |
|           | <i>Urtica memb.</i> | +   | +        | -      | +     | +        | +                           |

**Tabla 5.1.** Tendencia de la pendiente de la línea de regresión de los parámetros del PPP de los tipos polínicos principales. **IPA, pico:** (+aumento; -disminución); **inicio, final, día pico:** (+retraso; -adelanto); **Duración PPP** (+alargamiento; -acortamiento); \*: p<0,05.

### 5.3.4. Niveles de polen

En esta presente tesis, en relación a los grupos y categorías establecidas por la Red Española de Aerobiología (REA), hemos evaluado la evolución de los niveles (Tabla 5.2), para los principales alérgenos polínicos potencialmente susceptibles de presentar una cierta prevalencia en la población de Málaga capital. Dichos niveles fueron definidos en base a las concentraciones necesarias para que las personas sensibles desarrollaran síntomas asociados a la presencia de los distintos tipos polínicos en el aire (Galán *et al.*, 2007).

Asimismo, en nuestro caso, se ha observado un comportamiento generalizado, con tendencias positivas en el caso de los 13 tipos polínicos principales, tanto del grupo de las plantas leñosas como de

las herbáceas, en lo que se refiere a los niveles 2 (bajos) y 3 (moderados). Por el contrario, se observó un descenso en el nivel 1 (nulos) donde es significativo sobre todo en el caso de las leñosas, con la única excepción de Myrtaceae. Sin embargo, aparecieron también tendencias positivas (al alza) en el caso de niveles 4 (altos) en los tipos polínicos *Olea*, *Quercus*, *Parietaria* y *Poaceae*. De esta forma, a la hora de evaluar los resultados, se podría considerar la posibilidad de usar esta información para dar a conocer a los alergólogos y a los pacientes de alergia al polen, la dinámica de los tipos polínicos correspondientes para planificar mejor sus tratamientos.

| Niveles   |                     | 1  | 2  | 3  | 4  |
|-----------|---------------------|----|----|----|----|
| Leñosas   | <i>Casuarina</i>    | -* | +* | -  | -* |
|           | Cupressaceae        | -* | +* | +  | -* |
|           | Myrtaceae           | -  | +  | -  | -  |
|           | <i>Olea</i>         | -* | +  | +* | +  |
|           | <i>Platanus</i>     | -* | +* | +  | DI |
|           | <i>Pinus</i>        | -* | +* | -  | DI |
|           | <i>Quercus</i>      | -* | +* | +* | +  |
| Herbáceas | Chenop-Amar.        | -  | +  | -  | -  |
|           | <i>Parietaria</i>   | -  | -  | +  | +  |
|           | <i>Plantago</i>     | -  | +  | -  | -  |
|           | Poaceae             | -  | +  | +  | +  |
|           | <i>Rumex</i>        | -  | +* | -  | -  |
|           | <i>Urtica memb.</i> | -  | +  | +  | -  |

**Tabla 5.2.** Resultados de la pendiente de regresión indicando las tendencias de los niveles de polen en la atmósfera de Málaga (+: aumento, - disminución, \* p<0,05, DI: datos insuficientes)

#### 5.4. Correlación entre las concentraciones de polen y los principales parámetros meteorológicos

Los parámetros meteorológicos están profundamente relacionados con la producción y dispersión de los granos de pólenes en la atmósfera de una cierta localidad, como han puesto de manifiesto numerosos autores (Spieksma, 1980; Díaz De La Guardia *et al.*, 1998; Galán *et al.*, 2000; Galán *et al.*, 2000; Recio *et al.*, 2010; entre otros muchos). Esto ha sido confirmado en nuestro caso, al observar el grado de correlación entre los datos polínicos y las variables meteorológicas.

Como se comentó en el apartado material y métodos, los análisis de correlación se han efectuado entre los valores diarios de los parámetros meteorológicos y las concentraciones medias diarias de polen durante el PPP, tomando los datos del conjunto de los años estudiados. Igualmente, dichos análisis se han efectuado entre las concentraciones medias diarias de los principales tipos polínicos durante los periodos pre-pico y post-pico, por separado. La separación de los dos periodos puso de manifiesto ciertas diferencias en lo que se refiere a la influencia que cada parámetro meteorológico tiene, sobre el comportamiento de las concentraciones medias diarias de polen, en cada una de estas fases del periodo de polinación principal.

Un hecho interesante a comentar, a la vista de los resultados del análisis de correlación obtenidos es el de los valores relativamente bajos de los coeficientes de correlación obtenidos, incluso cuando son



significativos. Esto es debido al elevado número de datos analizados (1991/92-2015) lo cual permite obtener valores estadísticamente significativos incluso cuando los coeficientes son bajos.

En general, se ha observado que tanto el régimen de vientos como las temperaturas juegan un papel destacado en los niveles de polen en la atmósfera de Málaga. Este efecto ha sido puesto de manifiesto por diversos autores. Algunos de ellos afirmaron que la dirección del viento y las precipitaciones, son los parámetros que mejor explican las variaciones de la dinámica estacional de los diferentes tipos polínicos en la atmósfera (Barnes *et al.*, 2001; Van Vliet *et al.*, 2002). El viento influye de manera muy directa en los niveles de polen, tanto por la dirección como por la velocidad que toman. De hecho, el comportamiento observado en los registros polínicos durante el periodo estudiado ha estado directamente relacionado con la dirección de procedencia de los vientos. Así pues, la correlación negativa de los vientos del segundo cuadrante se debe a que éstos proceden del mar, llegando, por tanto, libres de partículas y arrastrando al polen atmosférico y otras partículas hacia zonas interiores de la provincia. Por el contrario, se observan correlaciones positivas con los vientos del cuarto cuadrante que proceden del norte y penetran a través del Valle del Guadalhorce tomando dirección noroeste y que traen consigo polen originados en zonas más interiores de la provincia, tal como el caso del tipo polínico *Olea europaea* (Recio *et al.*, 1996; Melgar, 2010). Por otra parte, los periodos de calma en determinados casos se correlacionan negativamente con las concentraciones de polen, aunque los coeficientes no suelen ser altamente significativos ya que en Málaga las calmas no son muy frecuentes debido a los fenómenos de brisa-contra brisa provocados por el mar, así como por su proximidad al estrecho de Gibraltar. Este efecto del sistema brisa-contrabrisa también deja sentir sus efectos en la distribución intradiaria de los granos de polen de especies situadas en zonas interiores de la provincia de Málaga, e incluso de Andalucía, dando lugar a curvas planas, en lo que a distribución intradiaria se refiere, con valores del IDI bastante bajos, al sumarse los incrementos de las concentraciones que se producen durante la noche (efecto contrabrisa) con los picos producidos durante el día debido al mayor grado de polinación por dehiscencia de las anteras. Se trata de casos como los de *Olea europaea* y *Quercus*, el primero de ellos con importantes implicaciones alérgicas en la población de nuestra área de estudio.

Las temperaturas también ejercen una influencia muy importante en las concentraciones diarias de polen, ya que, en general, se han obtenido coeficientes altamente significativos, siendo su efecto marcadamente contrario durante los periodos pre-pico y post-pico, con valores, en general, positivos durante el pre-pico y negativos durante el post-pico. Esto es debido a que la mayoría de los tipos polínicos presentan su PPP desde mediados de invierno a finales de primavera y a que, durante el periodo pre-pico las concentraciones polínicas aumenta al tiempo que lo hacen las temperaturas, mientras que durante el post-pico, las concentraciones disminuyen al tiempo que las temperaturas siguen incrementándose (Domínguez-Vilches *et al.*, 1993; Recio *et al.*, 1996). Por otra parte, el parámetro horas de sol presentó un buen grado de asociación con las concentraciones de polen en la mayor parte de los tipos polínicos obteniéndose en la mayoría de los casos valores positivos y significativos de los coeficientes de correlación durante los periodos del PPP y pre-pico, destacando los tipos polínicos Poaceae, *Quercus*, *Rumex*, *Urtica membranacea* donde aparecieron también, correlaciones positivas durante el periodo post-pico. Diversos trabajos llevados a cabo en otras zonas de España también ponen de manifiesto la importancia de la temperatura y de las horas de sol para favorecer la dehiscencia de las anteras y, consecuentemente, la liberación de los granos de polen a la atmósfera, ya que una relación

proporcional entre ambas incrementa los niveles de polen atmosférico tanto de taxones herbáceos (Días de la Guardia *et al.*, 1995; Iglesias *et al.*, 1998c) como de leñosos (García-Mozo *et al.*, 2008).

En relación con las precipitaciones y la humedad relativa, se observa que estos parámetros presentan, en general, coeficientes de correlación de signo negativo, debido a que tienden a disminuir los niveles de polen atmosférico. Una elevada humedad ambiental no favorece la dehiscencia de las anteras y actúa aglutinando los granos de polen, reduciendo su flotabilidad en la atmósfera. La lluvia por su parte, presenta efectos contrarios dependiendo de que la consideremos a largo o a corto plazo. Es evidente que las lluvias pre-estacionales favorecen el desarrollo de las plantas, la producción de flores y, por tanto, de polen. Sin embargo, a corto plazo, producen un efecto de lavado atmosférico, acelerando el proceso de deposición de los granos de polen, hecho descrito por autores como Carmiello *et al.* (1994) y Barnes *et al.* (2001) entre otros muchos. Hay que tener también en cuenta, el efecto de la localización de la estación de muestreo ya que, en Málaga, los vientos levante, procedentes del mar, provocan tanto el aumento de la humedad relativa, como la disminución de los niveles de polen atmosférico, mientras que los vientos del noroeste, bastantes más secos, tienden a disminuir la humedad relativa, favoreciendo las condiciones óptimas para la dehiscencia masiva de las anteras, aparte de elevar las temperaturas (vientos terrales).

### 5.5. Variación intradiaria

La dinámica intradiaria de cualquier taxón se encuentra directamente influenciada por numerosos factores (Trigo *et al.*, 1997), como son las condiciones meteorológicas en el momento de la liberación del polen (Kupias *et al.*, 1989; Alba *et al.*, 2000), por la topografía de cada localidad (Leuschner & Boehm 1981) y por la distribución y la distancia de la fuente de emisora de polen (Vaquero *et al.*, 2013; Fernández-Rodríguez *et al.*, 2014a), así como por el ritmo propio de la planta y por el número de especies incluidos en cada tipo polínico, o bien por la posición del captador (Emberlin *et al.*, 1994; Fernández-Rodríguez *et al.*, 2014b). Este último factor tuvo un impacto directo en la dinámica intradiaria de los tipos polínicos *Casuarina* y Cupressaceae, de los que hemos obtenido valores de IDI inferiores durante el periodo 2001-2015, en comparación con el periodo 1992-2000, probablemente debido al cambio en la ubicación del captador efectuado en el año 2000, lo cual nos lleva a valorar la importancia de la situación de los muestreadores de polen (Gharbi *et al.*, 2015).

Básicamente, se observó que cada tipo polínico presenta un comportamiento propio y que, en general, dicho comportamiento se ha mantenido estable durante los años estudiados para la mayoría de los tipos polínicos principales, siendo similar al descrito en años previos para la misma localidad (Trigo *et al.*, 1997; Melgar, 2010). Sin embargo, al observar el comportamiento intradiario año por año, a veces a parecen diferencias en lo que se refiere a la intensidad de los picos de las concentraciones medias diarias, especialmente en el caso de *Pinus*, *Olea*, *Urtica membranacea*. Esas variaciones pueden ser también consecuencia de las variaciones interanuales de los parámetros meteorológicos, en el sentido que ya hemos comentado previamente.

En función del tipo de gráfico de la variación intradiaria observado, se obtuvieron tres modelos. Podemos considerar un primer grupo de plantas cuya emisión de polen se produce al mediodía o durante la mañana. Este es el caso de *Casuarina*, Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Cupressaceae, Myrtaceae, *Parietaria*, *Pinus*, *Plantago*, *Platanus*, Poaceae. Estos taxones forman parte de la vegetación localizada

en las proximidades del captador, de modo que su modelo intradiario es el resultado de los mecanismos de la anthesis propios de cada taxón, que coinciden con el aumento de las temperaturas diarias o con los valores máximos diarios. Este tipo de comportamiento ha sido citado en numerosos trabajos (Galán *et al.*, 1991; Trigo *et al.*, 1997).

Un segundo modelo incluiría los tipos polínicos que presentaron elevadas concentraciones durante la noche. Este comportamiento caracteriza a los tipos *Quercus*, *Urtica membranacea* que forman parte de la vegetación natural y están representados en las montañas rodeando la estación aerobiológica. La variación intradiaria de estos pólenes está influida por los fenómenos de brisa/contra brisa locales, los vientos descienden durante la noche desde las zonas montañosas del interior hacia el mar y arrastran elevadas cantidades de estos tipos polínicos. Este proceso, frecuente en zonas costeras, responsable de variaciones polínicas de la atmósfera, ya fue descrito previamente en nuestra localidad por Trigo *et al.* (1997) y también por otros autores como Docampo (2008) en Nerja, Nieto Lugilde (2008) en Motril, y Gassmann *et al.* (2002) en Mar del Plata.

Por último, el tercer modelo se corresponde con la curva obtenida para *Olea*, que mostró un comportamiento intradiario homogéneo a lo largo del día, con picos que no suelen producirse a una hora concreta (Fig. 4.78). Estas variaciones se deben a las condiciones locales, a la distancia con respecto a la fuente y al transporte, ya que *Olea* se encuentra en zonas tanto cercanas como alejadas del captador y en un rango altitudinal importante, estando este tipo polínico representado por diferentes variedades cultivadas, que pueden liberar el polen en diferentes momentos del día.

En cuanto al valor de los índices de distribución intradiaria (IDI), los valores más bajos, y por tanto, con curvas más homogéneas y/o picos menos destacables corresponden a *Olea* (0,03), seguidos de *Parietaria*, Poaceae y *Quercus* (0,07), mientras que los valores más elevados corresponden a los tipos polínicos que presentan picos más destacados: *Casuarina* (0,23), Cupressaceae (0,17), así como Chenopodiaceae-Amaranthaceae y Myrtaceae, ambos con IDI =0,15.

## 5.6. Modelos de pronóstico

Las concentraciones diarias de polen varían de un día a otro de acuerdo con los ritmos de floración de las plantas y la influencia de los parámetros meteorológicos, así que una adecuada predicción de estas variaciones mediante determinados modelos matemáticos, permitiría a las personas sensibles poner en marcha las acciones preventivas necesarias para evitar o disminuir los síntomas de la polinosis (Bringfelt *et al.*, 1982; Antépara *et al.*, 1995; Norris-Hill, 1995; Dahl & Strandhede, 1996). Igualmente, mediante estos modelos también se pueden predecir la producción a futuro de plantas con interés económico, usando la cantidad de polen emitida a la atmósfera (Minero *et al.*, 1998; Fornaciari *et al.*, 2005; Galán *et al.*, 2004; Oteros *et al.*, 2014).

Una primera forma de acercarse a este problema es el desarrollo de modelos de regresión lineal, en el que intervengan las variables meteorológicas más relacionadas con la concentración de polen (Emberlin *et al.*, 1993; Stark *et al.*, 1997; Galán *et al.*, 1995, 2000). En este estudio, hemos desarrollado modelos predictivos para los periodos pre-pico, basados en estudios de regresión múltiple por pasos. Los modelos realizados utilizando las variables meteorológicas permitieron obtener unos resultados modestos en lo que se refiere a la estimación de las concentraciones medias diarias durante el periodo pre-pico de los 13 tipos polínicos principales, en la base de los coeficientes de determinación obtenidos.

En nuestro caso, el hecho de que hayamos conseguido modelos con valores de  $R^2$ , más o menos variables pero, en general, bajos, al igual que ocurría con los coeficientes obtenidos del análisis de correlación, se debe por una parte a la cantidad de datos analizados y, por otra, al hecho de que el coeficiente de determinación  $R^2$  es el cuadrante del coeficiente de correlación de Pearson, aunque desde el punto de vista estadístico todos los modelos obtenidos fueron altamente significativos. En cualquier caso, es de destacar que los resultados obtenidos, se deben también a que los diversos parámetros meteorológicos han sido, en general, muy variables en los diferentes años, y por otra parte, a la complejidad de elaborar predicciones polínicas fiables.

Si observamos los modelos de pronósticos obtenidos mediante regresión múltiple por pasos, encontramos que los parámetros meteorológicos que presentaron coeficientes de correlación más altamente significativos en los estudios de correlación con las concentraciones medias diarias de polen durante el pre-pico, son los que más frecuentemente aparecen en dichas ecuaciones de pronóstico. Así, uno de los parámetros que tuvo un papel relevante sobre los niveles de polen fue la temperatura máxima, ocupando en todas las ecuaciones el tercer lugar. También fue importante el papel de la dirección de los vientos, sobre todo el viento de cuarto cuadrante, que aparece en los mejores modelos de Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Myrtaceae, *Olea* y Poaceae. Es de destacar también el papel de las horas de sol sobre las concentraciones de polen de Cupressaceae (Tabla 4.39) y *Rumex* (Tabla 4.128).

Al incluir las variables no meteorológicas en los modelos, podemos destacar la gran diferencia entre los resultados obtenidos con respecto a la utilización únicamente de los parámetros meteorológicos como variables predictoras, ya que al incluir éstos conjuntamente con la concentración del día anterior y la D-media, los modelos mejoran sensiblemente, incrementándose de manera notable en valor del coeficiente de determinación  $R^2$ . Esto coincide con los resultados obtenidos en trabajos previos elaborados por nuestro grupo de investigación (Recio *et al.*, 2002; Docampo, 2008; Melgar, 2010). Por otra parte, haciendo referencia a los análisis de autocorrelación realizados, se comprobó que casi en la totalidad de los casos, se consiguió una autocorrelación más elevada con la concentración del día anterior, resultando la mejor variable independiente empleada, al ser la primera incluida en el 100% de los modelos establecidos. Por lo tanto, se podría afirmar que las variables no meteorológicas (D-media y concentración del día anterior) resultan de gran utilidad en la previsión de las concentraciones de polen, siendo una forma de introducir la fenología de cada taxón, en contraposición con los parámetros meteorológicos que presentan el inconveniente de que, en caso de ser utilizados, deben ser previamente estimados.

La validación de los mejores modelos de pronóstico obtenidos, se ha realizado mediante el test no paramétrico de *Wilcoxon*. A pesar de que, en la mayoría de los casos, hemos obtenidos valores del coeficiente de correlación de *Spearman* altamente significativos entre los datos observados en el año 2016 (no incluido en los modelos de pronóstico) y los estimados mediante el modelo que obtuvo el coeficiente de determinación más alto, se observaron diferencias significativas entre los promedios de datos comparados que, en muchos de los casos, nos llevaron a rechazar el modelo. Sólo para los tipos polínicos *Quercus*, Poaceae, *Plantago*, *Parietaria*, Cupressaceae y *Casuarina* no se encontraron diferencias significativas.

### 5.7. Calendario polínico

La elaboración de “calendarios polínicos”, representaciones gráficas que resumen la dinámica anual de los principales tipos polínicos de una localidad, ordenados en función de su periodo de presencia atmosférica, constituye una herramienta que facilita la comprensión del comportamiento del contenido polínico de la atmósfera en todo momento del año para una localidad determinada, informando sobre los niveles atmosféricos de los diferentes tipos polínicos a lo largo del año, al tiempo que destaca la importancia relativa de unos tipos polínicos con respecto a otros (Belmonte & Roure, 2002).

El calendario polínico obtenido para Málaga durante el periodo 1992-2015 (Fig. 4.289), es muy similar al realizado por Recio *et al.* (1998) para esta misma localidad durante el periodo 1991-1995 o bien por Melgar (2010) durante el periodo (2004-2006), en lo que se refiere al espectro polínico y la estacionalidad que presentan los tipos polínicos más representativos. También son similares los calendarios realizados por Docampo *et al.* (2007), Recio *et al.* (2006), Trigo *et al.* (2007) para localidades cercanas como Nerja, Estepona o Vélez-Málaga, respectivamente. O bien los de otras localidades del Sur de la Península Ibérica como Granada (Alba, 1997), Jaén (Ruiz *et al.* 2002), Almería (Sabariego, 2003). Esto nos lleva a sugerir que un calendario elaborado con un muestreo de tres o cuatro años puede ser suficiente para llegar a caracterizar la dinámica de los tipos polínicos de una zona determinada.

Resulta un calendario típicamente mediterráneo en el que se aprecia, con independencia a los taxa que intervienen, que el contenido aerobiológico de la atmósfera se caracteriza por la presencia de polen durante casi todo el año, con periodos de polinación muy prolongados, caracterizados por presentar colas largas, debido al incremento y al descenso plautino de las concentraciones y con predominio de los táxones primaverales (Fig. 4.254), lo que coincide con lo que ocurre en otras zonas de la cuenca mediterránea tal como ha sido descrito en Trieste, Italia (Rizzi-Longo *et al.*, 2007); Thessaloniki, Grecia (Gloulekas *et al.*, 2003); Belecik, Turquía (Türe & Böcük, 2009) o en Tetúan, Marruecos (Aboulaich, 2012). Sin embargo, en las zonas continentales del norte de Europa, como es el caso de Estocolmo, Suecia (Atkinson & Larsson, 1990); Londres, Reino Unido (Emberlin *et al.*, 1990) o Münster, Alemania (Melgar *et al.*, 2012), se observa que los tipos polínicos aparecen y desaparecen de forma rápida, de tal manera que las concentraciones se incrementan rápidamente y también tienden a descender de una forma más brusca a media que subimos en la latitud, lo que da lugar a periodos de polinación considerablemente más cortos e intensos, desplazados hacia finales de primavera y verano.

Por otra parte, se aprecia que las especies anemófilas que forman parte de la vegetación del entorno, ya sea naturales (*Quercus*, *Pinus*, Poaceae, Chenopodiaceae-Amaranthaceae, *Rumex*, *Plantago*) o cultivadas (*Olea europaea*, *Casuarina*, Cupressaceae), se encuentran bien representadas, mientras que otras, típicas de lugares situados más al norte o al este del continente, o no aparecen, como es el caso de *Ambrosia* frecuente en países del centro-este de Europa (Peternel *et al.*, 2008), o bien se encuentran escasamente representadas como es el caso *Artemisia* (Stach *et al.*, 2007, Scvekoá *et al.*, 2010), o de *Alnus* y *Betula* (Peternel *et al.*, 2005; Melgar *et al.*, 2012). Esto nos indica que el espectro polínico de una localidad es característico de la zona geográfica en la que se encuentra situada la estación de muestreo.

No obstante, es importante destacar que, al elaborar el calendario polínico para los 24 años estudiados, hemos observado variaciones en lo que a la longitud de las colas se refiere, en relación a los calendarios previos elaborados para nuestra localidad, que afectan al inicio y el fin del PPP y, por lo tanto a la longitud del periodo de polinación. También se han observado algunas diferencias en cuanto a los niveles alcanzados, especialmente en los casos de *Parietaria* y *Urtica membranaceae*, apreciándose un aumento de dichos niveles en la atmósfera de Málaga. Por otra parte, debido a que estamos analizando un periodo largo de tiempo, hay que mencionar la ausencia en este último calendario de algunos taxones como *Alnus*, *Cannabis* y *Fraxinus* y la aparición de otros nuevos como el caso de *Parkinsonia*. Esas variaciones se deben la dinámica del polen de esos tipos en la atmósfera de Málaga y en gran medida a los cambios climáticos interanuales comentados previamente en el capítulo de resultados.

### 6. Implicaciones alérgicas

Como ya se ha comentado anteriormente, los granos de polen presentes en la atmósfera son causa de síntomas de alergia en la población cuando contienen sustancias desencadenantes de este tipo de reacciones y sus niveles en el aire se incrementan hasta cierto punto (valor umbral). Si revisamos el comportamiento de los principales tipos polínicos de plantas herbáceas con relevancia aeroalérgica en la atmósfera de Málaga, observamos que *Parietaria* y Poaceae presentan una tendencia positiva en lo que se refiere a los días con concentraciones medias diarias que podrían activar síntomas de alergia. Sin embargo, lo contrario ocurre en el caso de Chenopodiaceae-Amaranthaceae. Este resultado debería ser tomado en consideración especialmente por los pacientes que sufren alergia a *Parietaria* o a las gramíneas puesto que en un estudio llevado a cabo en nuestra localidad determinó un porcentaje de 56,5% de individuos atópicos presentaron pruebas cutáneas positivas para extractos de Poaceae y el 30% a *Parietaria* (Torrecillas *et al.*, 1998). No obstante, en el caso de Chenopodiaceae-Amaranthaceae, el resultado obtenido puede servir como un buen augurio para el 20% de los pacientes que presentan reacciones positivas en pruebas cutáneas en nuestra localidad tal como describieron Torrecillas *et al.* (1998), en un trabajo previo.

En el grupo de tipos polínicos de especies leñosas, encontramos que *Olea* y *Quercus* presentan tendencias positivas en lo que se refiere a los días con niveles iguales o superiores a 200 g.p/m<sup>3</sup>. Estos tipos polínicos, especialmente *Olea*, son considerados importantes alérgenos susceptibles de causar sintomatología en las personas sensibles ya que se ha evaluado, en Málaga, una prevalencia del 69% de pruebas cutáneas positivas a extractos de *Olea* en individuos atópicos (Torrecillas *et al.*, 1998).

En este trabajo se han estudiado las tendencias que presentan los diferentes tipos polínicos en la atmósfera de Málaga, lo cual pone de manifiesto como las diferentes especies se adaptan al cambio climático modificando la fenología de la floración, la cual está directamente relacionada con la polinación y la presencia de polen en la atmósfera. Las modificaciones de los parámetros meteorológicos, especialmente los indicadores de calor (temperaturas, horas sol) producen alteraciones en el inicio, final y duración del PPP principalmente, pero también en los niveles del polen detectado, así como en la fecha en la que se produce los días pico. La mejor o peor adaptación de las plantas a esos cambios dependerá de la resiliencia de cada una de las especies. Los registros aerobiológicos que abarcan un largo periodo de tiempo ofrecen la posibilidad de trabajar con datos cuantitativos que pongan

de manifiesto la magnitud de las modificaciones que están teniendo lugar en las plantas del entorno como respuesta al cambio climático, por lo que lo constituyen una herramienta de gran utilidad junto con los registros fenológicos tomados *in situ*.

Por otra parte, dado el dramático incremento de los casos de alergia que se ha venido produciendo en las últimas décadas, cualquier alteración que afecte al periodo de polinación, especialmente la fecha de inicio y final, así como la duración del PPP, tendrá consecuencia en la duración y severidad de sintomatología desarrollada por los pacientes. Además, consideramos que es altamente recomendable mantener en los núcleos de importantes de población estaciones de muestreo aerobiológico. Pero también nos parece de vital importancia realizar estudios en el entorno de vegetación natural para observar el comportamiento fenológico de especies autóctonas que puedan tener importancia forestal y cómo les afecta el cambio climático.

### 5.8. Comparación de metodologías de recuentos de polen

Uno de los principales objetivos de la Aerobiología es producir resultados diarios de los recuentos de polen que se utilizarán en la predicción a corto y largo plazo y que serán distribuidos rápidamente por los medios de comunicación. La elección del método de conteo que utilizará un equipo se ha basado principalmente en razones históricas y tradicionales y es difícil cambiar a otro método una vez que se ha aplicado. La mayoría de los equipos europeos, excepto la RIMA (Mandrioli, 1994; UNI, 2004; Travaglini *et al.*, 2009), siguen la metodología propuesta por la REA (Galán *et al.*, 2007).

La estandarización de un método de recuento de polen permite la comparación los datos obtenidos entre diferentes lugares, como variaciones intradiarias y características estacionales, la intensidad y la dinámica del PPP, así como las tendencias a largo plazo (por ejemplo, en relación con el uso de la tierra y el cambio climático). La capacidad de producir datos comparables brinda oportunidades para construir modelos para predecir el polen en el aire a lo largo de una gran escala geográfica (Siljamo *et al.*, 2013; Sofiev *et al.*, 2013; Galán *et al.*, 2014). Al observar los recuentos referentes a la composición del espectro polínico determinado por ambas metodologías se aprecia que la realización de este trabajo ha sido útil para asumir que es fundamental unificar una metodología de recuento y estimación del contenido polínico a nivel europeo, así como para saber si los datos obtenidos son comparables entre sí. En el caso que nos ocupa, los resultados fueron bastante similares, si bien en algunos casos se ha apreciado valores más elevados de las concentraciones de polen cuando se aplicaba el método seguido por la REA (4 barridos), lo que creemos que puede ser debido a una sobreestimación debido a que el factor de corrección es tanto más alto cuanto menor es la superficie observada.

## 6. CONCLUSIONES/CONCLUSIONS





### Conclusiones

A partir de la discusión de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta los objetivos planteados, se proponen a continuación las siguientes conclusiones:

1. El presente trabajo se puede considerar el estudio aerobiológico más largo realizado en toda la Península Ibérica, ya que se ha analizado la evolución del contenido polínico de la atmósfera durante una serie temporal de 25 años.
2. A lo largo del periodo estudiado, se han detectado tendencias significativas en lo que a parámetros meteorológicos se refiere, destacándose, entre éstas el incremento de las temperaturas, el descenso de la humedad relativa, así como incrementos en la velocidad del viento y en la frecuencia de los vientos dominantes (2º y 4º cuadrante), lo que nos sitúa en un escenario de cambio climático. No se ha detectado tendencia alguna en el caso de las precipitaciones, aunque sí las grandes fluctuaciones típicas del área mediterránea.
3. Durante el periodo 1992-2015, se han registrado de forma regular 36 tipos polínicos en la atmósfera de Málaga, 21 de los cuales corresponden a taxones leñosos y 15 a plantas herbáceas, cuyos pólenes representan el 73,95% y el 26,05%, respectivamente del contenido polínico total.
4. El espectro polínico se caracteriza por el predominio de trece tipos principales que, en su conjunto constituyen un 93,29 % del total del periodo estudiado. En orden de abundancia estos tipos polínicos son *Olea* (32,5%), Cupressaceae (16,34%), *Quercus* (14,28%), Poaceae (7,79%), Chenopodiaceae-Amaranthaceae (4,20%), *Plantago* (3,99%), *Parietaria* (3,76%), *Pinus* (3,40%), *Casuarina* (1,93%), *Rumex* (1,41%), Myrtaceae (1,32%), *Platanus* (1,20) y *Urtica membranacea*, (1,14%).
5. En Málaga, los diferentes tipos polínicos presentan una estacionalidad muy marcada, estando centrada, en la mayoría de los casos, entre mediados de invierno y finales de primavera. Durante el periodo estudiado, el 89,41% del polen total se recolectó entre los meses de febrero y junio (ambos inclusive), siendo abril (24,21%) y mayo (34,24%) los de mayor incidencia polínica atmosférica.
6. A la vista de las tendencias observadas en los diferentes tipos polínicos en la atmósfera de Málaga, se aprecia que cada cual presenta un comportamiento diferente. No obstante, es de destacar la tendencia al alargamiento de la duración del PPP observada en casi todos los taxones estudiados, con excepción de Poaceae y *Parietaria* y el retraso generalizado observado en la mayoría de los tipos polínicos en relación con la fecha del final del PPP, así como en la del día pico. El que dichas tendencias no hayan resultado significativas en la mayoría de los casos se debe en parte a las variaciones interanuales características del clima mediterráneo, pero también que los mecanismos de adaptación como respuesta a los cambios climáticos, no se producen de una manera drástica.

7. Las tendencias positivas registradas en el incremento del número de días con concentraciones moderadas y altas de polen en la atmósfera de Málaga, pueden incidir negativamente en la salud de la población, dando lugar a una mayor incidencia de los episodios severos de alergia, especialmente en el caso de los tipos polínicos que mayor prevalencia presentan: *Olea europaea*, *Poaceae* y *Parietaria*.
8. En lo que a las correlaciones entre las concentraciones medias diarias de polen y los parámetros meteorológicos se refiere, los mejores resultados se obtuvieron al separar los periodos pre-pico y post-pico. Entre las variables meteorológicas estudiadas, los parámetros que mejor se correlacionan con las concentraciones medias diarias de polen en Málaga son las temperaturas medias y máximas pero, sobre todo, las mínimas, así como los vientos del segundo y cuarto cuadrante.
9. En general, los patrones de distribución intradiaria obtenidos son similares a los incluidos en estudios previos realizados en la misma localidad. Dichos patrones son bastante estables para un tipo polínico determinado y pueden ser considerados como una característica de los mismos para una determinada estación de muestreo.
10. Los modelos de pronóstico obtenidos indican que la D-media y concentración del día anterior son variables independientes de gran utilidad en la previsión de las concentraciones polínicas a corto plazo, mejorando notablemente los modelos, ya que constituyen una forma de introducir en las ecuaciones la fenología de cada taxón, tratándose de un dato real, en comparación con los parámetros meteorológicos que deben ser estimados. Todos los modelos obtenidos presentaron una correlación altamente significativa entre datos observados y esperados, pero sólo los obtenidos para *Quercus*, *Poaceae*, *Plantago*, *Parietaria*, *Cupressaceae* y *Casuarina* no presentaron diferencias significativas al aplicar el test de Wilcoxon.
11. El calendario polínico elaborado para el periodo 1992-2015 es muy similar al realizado en trabajos anteriores en Málaga capital, por lo que consideramos que un estudio de entre 3 y 5 años puede ser suficiente para caracterizar, a grandes rasgos, la dinámica del polen atmosférico de una localidad. Dicho calendario presenta las características típicas del área mediterránea, con presencia de polen durante todo el año y periodos de polinación largos. Además, el espectro polínico es claro reflejo de la vegetación anemófila de la zona.
12. La comparación de los resultados entre la metodología empleada por las redes de aerobiología española (REA) e italiana (RIMA) en los recuentos de polen, arrojaron una buena asociación entre los datos, pero también ciertas diferencias estadísticas para algunos de los periodos estudiados, y en el caso de algunos tipos polínicos. Una estandarización de la metodología empleada en los recuentos es fundamental para que los datos de las diferentes estaciones puedan ser comparados.

13. Sería conveniente realizar más estudios como el que aquí presentamos para determinar si un mismo taxón muestra las mismas tendencias en diferentes áreas geográficas y ante diferentes escenarios de cambio climático.

## Conclusions

Based on the discussion of the results obtained and taking into account the objectives set, the following conclusions are presented:

1. The present work can be considered the longest aerobiological study carried out in the Iberian Peninsula, since the evolution of the pollen content of the atmosphere during a 25-year time series has been analysed.
2. Throughout the studied period, significant trends have been detected regarding meteorological parameters, highlighting, among them, the increase in temperatures, the decrease in relative humidity, as well as increases in wind speed and in the frequency of prevailing winds (2nd and 4th quadrant), which places us in a climate change scenario. No trend has been detected in the case of rainfall, despite the great interannual fluctuations which are typical of the Mediterranean area.
3. During the period 1992-2015, 36 pollen types have been regularly recorded in the atmosphere of Malaga, 21 of which correspond to woody taxa and 15 to herbaceous plants. Their pollen counts represent 73.95% and 26.05%, respectively, of the total pollen content.
4. Pollen spectrum is characterized by the predominance of thirteen major types that, together, constitute a 93.29% of the studied period. In order of abundance, these pollen types are *Olea* (32.5%), *Cupressaceae* (16.34%), *Quercus* (14.28%), *Poaceae* (7.79%), *Chenopodiaceae-Amaranthaceae* (4.20%), *Plantago* (3.99%), *Parietaria* (3.76%), *Pinus* (3.40%), *Casuarina* (1.93%), *Rumex* (1.41%), *Myrtaceae* (1.32%), *Platanus* (1.20%) and *Urtica membranacea*, (1.14%).
5. In Malaga, the different pollen types present a very marked seasonality, being centred, in most cases, between mid-winter and late spring. During the period studied, 89.41% of the total pollen was collected between the months of February and June (both inclusive), April (24.21%) and May (34.24%) being those with the highest atmospheric pollen incidence.
6. In view of the trends observed for the different pollen types in the atmosphere of Malaga, it can be appreciated that each one of them presents a different behaviour. However, it is noteworthy the tendency to lengthen the duration of PPP observed in almost all the taxa studied, with the exception of *Poaceae* and *Parietaria*, and the generalized delay observed in most pollen types in relation to the date of the end of the PPP, as well as on the peak day. The fact that these trends have not been significant in most cases is partly due to the adaptation mechanisms in response to climate changes do not occur in a drastic way.

7. The positive trends recorded in the number of days with moderate and high concentrations of pollen in the atmosphere of Malaga, can have a negative impact on the health of the population, leading to a greater incidence of severe episodes of allergy, especially in the case of the pollen types that have the highest prevalence: *Olea europaea*, Poaceae and *Parietaria*.
8. Regarding correlations between the average daily pollen concentrations and meteorological parameters, the best results were obtained by separating the pre-peak and post-peak periods. Among the meteorological variables studied, the parameters that best correlated with the daily mean pollen concentrations in Malaga were mean and maximum temperatures but, especially, minimum temperatures, as well as the winds blowing from the second and fourth quadrants.
9. In general, the intradiurnal distribution patterns obtained are similar to those included in previous studies conducted in the same locality. These patterns have been showed to be quite stable for the different pollen types and can be considered as a characteristic of them for a given sampling station.
10. The forecast models obtained indicate that D-media and pollen concentration of the previous day are independent variables of great utility in the prediction of short term pollen concentrations, significantly improving the models, since they constitute a way of introducing the phenology of each taxon into the equations, being a real data, in comparison with meteorological parameters that have to be estimated. All the models obtained showed a highly significant correlation between observed and expected data, but only those obtained for Quercus, Poaceae, Plantago, Parietaria, Cupressaceae and Casuarina did not show significant differences when applying a Wilcoxon test.
11. The pollen calendar carried out for the period 1992-2015 is very similar to the carried out in previous works in Malaga. So, we consider that a study of between 3 and 5 years may be enough to broadly characterize the dynamics of the atmospheric pollen of a locality. This calendar presents the typical characteristics of the Mediterranean area, with the presence of pollen throughout the year and long periods of pollination. In addition, the pollen spectrum is a clear reflection of the anemophilous vegetation of the surrounding areas.
12. The comparison between the results obtained by using the methodology followed by the Spanish (REA) and the Italian (RIMA) aerobiology networks for the pollen counts, showed a good association between the data, but also certain statistical differences for some of the studied periods, as well as in the case of some pollen types. A standardization of the methodology used in the pollen counts is fundamental in order to the data of different stations can be compared.
13. It would be advisable to carry out more studies such as the presented here to determine if the same taxon shows the same trends in different geographical areas and in different scenarios of climate change.





- Aboulaich N. (2012). Estudio aerobiológico de la atmósfera de Tetuán, NO Marruecos (2008-2011). Influencia de los parámetros meteorológicos y modelos de pronóstico. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, Málaga.
- Aboulaich N., Bouziane H., El Kadiri M. and Riadi, H. (2008). Male phenology and pollen production of *Cupressus sempervirens* in Tetouan (Morocco). *Grana*, 74:130–138.
- Aboulaich N., Bouziane H., El Kadiri M., Trigo M.M., Riadi H., Kazzaz M. and Merzouki A. (2009). Pollen production in anemophilous species of the Poaceae family in Tetouan (NW Morocco). *Aerobiologia*, 25:27–38.
- Aboulaich N., Trigo M.M., Bouziane H., Cabezudo B., Recio M., El Kadiri M. and Ater M. (2013). Variations and origin of the atmospheric pollen of cannabis detected in the province of Tetouan (NW Morocco): 2008–2010. *Science of the Total Environment*, 443: 413–419.
- Abreu I., Ribeiro N., Ribeiro H., Oliveira M. and Cruz A. (2008). Airborne Poaceae pollen in Porto (Portugal) and allergenic profiles of several grass pollen types. *Aerobiologia*, 24: 133-140.
- Accorsi C. A. and Bandini Mazzanti M. (1980). Studi sui pollini allergogeni. *Parietaria officinalis* L. e *P. judaica* L.: posizione sistematica, morfologia e biometria del polline. *Webbia*, 34: 643–661.
- Acevedo F., Vesterberg O. and Bayard C. (1998). “Visualization and quantification of birch pollen allergens directly on air sampling filter”, *Allergy*, 53: 594–601.
- AEMET (2016). Informe anual 2015. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, p 87.
- AEMET, Agencia Estatal de Meteorología. (2011). Atlas climático Ibérico: Temperatura del aire y precipitación (1971-2000). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid (Spain), p79.
- Aira M.J., Ferreiro M., Iglesias I., Jato V., Marcos C., Varela S. and Vidal C. (2001) Aeropalinología de cuatro ciudades de Galicia y su incidencia sobre la sintomatología alérgica estacional. In: Moreno E, Renduelles B, Moreno J (eds) Proceedings of the XIII Simposio de la A.P.L.E. University of Cartagena, Cartagena, Spain, pp 105–11.
- Aira M.J., Jato V. and Iglesias I. (2005). Calidad del aire. Polen y esporas en la Comunidad Gallega. Colección Técnica Medio Ambiente, Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, La Coruña, España. 237pp.
- Afif H., Mokahli S., Bourra H., Aichane A. and Bouayad Z. (2006). Sensibilisation cutanée au cypresse a Casablanca. *Recue Française d’Allergologie et d’Immunologie Clinique*, 46:633-639.
- Agashe S.N., Bapat B.N., Bapat H.N. and Philip E. (1994). Aerobiology of *Casuarina* pollen and its significance as a potential aeroallergen. *Aerobiologia*, 10:123-128.
- Aguilera F. and Valenzuela Ruiz L. (2009). Study of the floral phenology of *Olea europaea* L. in Jaén province (SE Spain) and its relation with pollen emission. *Aerobiologia*, 25:217-225.
- Aguilera F. and Valenzuela Ruiz L. (2012). Altitudinal fluctuations in the olive pollen emission: an approximation from the olive groves of the south-east Iberian Peninsula, *Aerobiologia*, 28:403-411.



- Aguilera F., Ruiz L., Fornaciari M., Romano B., Galán C., Oteros J., Ben Dhiab A., Msallen M. and Orlandi F. (2014). Heat accumulation period in the Mediterranean region: phenological response of the olive in different climate areas (Spain, Italy and Tunisia). *International Journal of Biometeorology*, 58:867-876.
- Aguilera F., Ruiz-Valenzuela L. (2014). Forecasting olive crop yields based on long-term aerobiological data series and bioclimatic conditions for the southern Iberian Peninsula. *Span. J. Agric. Res.*, 12:215–224.
- Aira M.J., Jato V. and Iglesias I. (2005). Calidad del aire. Polen y esporas en la Comunidad Gallega. Colección Técnica Medio Ambiente, Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, La Coruña, España. 237pp.
- Aira M.J., Rodríguez-Rajo F.J., Fernández-González M. and Jato V. (2011) Airborne pollen of ornamental tree species in the NW of Spain. *Environ. Monit. Assess.*, 173:765–775
- Aira M.J., Rodríguez-Rajo F.J., Fernández-González M.F., Seijo C., Elvira-Rendueles B., Abreu I., Gutierrez-Bustillo M., Perez-Sanchez E., Oliveira M., Recio M., Tormo R. and Morales J. (2013). Spatial and temporal distribution of *Alternaria* spores in the Iberian Peninsula atmosphere, and meteorological relationships: 1993–2009. *Int. J. Biometeorol.*, 57:265–274.
- Aira M.J., Ferreiro M., Iglesias I., Jato V., Marcos C., Varela S., *et al.* (2000). Aeropalinología de cuatro ciudades de Galicia y su incidencia sobre la sintomatología alérgica estacional. *XIII Simposio de Palinología*, A.P.L.E.. Cartagena, España
- Alba F. (1997). Caracterización polínica de la atmósfera de Granada: Relación de las variables meteorológicas y modelos predictivos de los táxones más alergógenos. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada.
- Alba F. and Diaz de la Guardia C. (1998). The effect of air temperature on the starting dates of the *Ulmus*, *Platanus* and *Olea* pollen seasons in the SE Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 14:191-194.
- Alba F. and Díaz de la Guardia (1996). El polen de las especies arbóreas y herbáceas en el espectro polínico de la atmósfera de Granada. *Monogr. Fl. Veg. Béticas*, 9:123-133.
- Alba F, Díaz de la Guardia and Comtois P. (2000). The effect of meteorological parameters on diurnal patterns of airborne olive pollen concentration. *Grana*, 39:200-208.
- Alba F., Diaz de la Guardia C., Sabariego S. and Nieto-Lugilde D. (2002). Aerobiología en Andalucía: Estacion de Granada (2000-2001). *Rea*; 7:65-70.
- Alba F., Nieto-Lugilde D., Comtois P., Diaz de la Guardia C., De linares C. and Ruiz L. (2006). Airborne-pollen map for *Olea europaea* L. in eastern Andalusia (Spain) using GIS: Estimation models. *Aerobiologia*, 22:109-118.
- Alba-Sánchez F., Sabariego-Ruiz S., Díaz de la Guardia C., Nieto-Lugilde D. and De Linares C. (2010). Aerobiological behaviour of six anemophilous taxa in semi-arid environments of southern Europe (Almería, SE Spain). *Journal of Arid Environments*, 74(11): 1381–1391.
- Alcázar P., Cariñanos P., De Castro C., Guerra F., Moreno C., Dominguez-Vilches E. and Galán C. (2004). Airborne plane-tree (*Platanus hispanica*) pollen distribution in the city of Cordoba, southwestern Spain, and possible implications on pollen allergy. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 14(3):238–43.



- Alcázar P., Galán C., Cariñanos P., Velasco A. and Domínguez E. (2002). Aerobiología en Andalucía: estación de Córdoba (2000-2001). *REA*, 7: 49-54.
- Alcázar P., García-Mozo H., Trigo M.M, Ruiz L., González-Minero F.J., Hidalgo P., Díaz de la Guardia C. and Galán C. (2011). *Platanus* pollen season in Andalusia (southern Spain): trends and modeling. *Journal of Environmental Monitoring*, 13: 2502-2510.
- Alcázar P., Stach A., Nowak M. and Galán C. (2009). Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland). *Aerobiologia*, 25:55–63.
- Al-Dowaisan A., Fakim N., Khan R., Arifhodzic N., Panicker R., Hanoon A. and Khan I. (2004). *Salsola* pollen as a predominant cause of respiratory allergies in Kuwait. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 92(2):262-267.
- Alfaya T. and Marques L. (2002). Chenopodiaceas/Amarantaceas. pp:69-78. In: Valero A.L. & Cadahia, A. Polinosis. *Polen y alergia* (eds). mra ediciones. Barcelona. Espana. *Allergol. Immunopathol.*, 33:145-150.
- Alvárez A., Gamella J.F. and Parra I. (2016). Cannabis cultivation in Spain: A profile of plantations, growers and production systems. *International Journal of Drug Policy*, 37:70-81.
- Andersen T.B. (1991). A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana*, 30:269-275.
- Anderson S.T. (1980). Influence of climatic variation on pollen season severity in wind pollinated trees and herbs. *Grana*, 19: 47–52.
- Antepara I., Fernández J.C., Gamboa P., Jauregui I. and Miguel F. (1995). Pollen Allergy in the Bilbao area (European Atlantic seabord climte): pollination forecasting models. *Clin. Exp. Allergy*, 25:133-140.
- Apostolou E.K. and Yannitsaros A.G. (1977). Atmospheric pollen in the area of Athens. *Allergy*, 32(2):109-117.
- Arenas L., González C., Tabarés J.M., Iglésias I., Méndez J. and Jato V. (1996). Sensibilización cutánea a pólenes en pacientes afectos de rinoconjuntivitis-asma en la población de Ourense en el año 1994–95. 1st European Symposium on Aerobiology, Santiago de Compostela, 11–13 September 1996.
- Ariano R., Panzani R.C., Chiapella M. and Augeri G. (1994). Pollinosis in a Mediterranean area (Riviera Ligure, Italy): Ten years of pollen counts, correlation with clinical sensitization and meteorological data. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 4: 81–86.
- Ariano R., Canonica G. W. and Passalacqua G. (2010). Possible role of climate changes in variations in pollen seasons and allergic sensitizations during 27 years. *Ann. Allergy Asthma Immunol.*, 104:215–222.
- Ariatti A. and Comtois P. (1993). Louis Pasteur: the first experimental aerobiologist. *Aerobiologia*, 9: 5-14.
- Armentia A., Quitero A., Fernández A. and Salvador Martin J. (1990). Allergy to pine pollen and pinon nuts: a review of three cases. *Ann. Allergy*, 64:49-53.
- Astray G., Fernández-González M., Rodríguez-Rajo F. J., López D. and Mejuto J. C. (2016). Airborne *Castanea* pollen forecasting model for ecological and allergological implementation. *Science of the Total Environment*, 548:110-121.

- Astray G., Rodríguez-Rajo F.J., Ferreiro-Lage J.A., Fernández-González M., Jato V. and Mejuto J.C. (2010). The use of artificial neural networks to forecast biological atmospheric allergens or pathogens only as *Alternaria* spores. *J. Environ. Monit.*, 12(11):2145–2152.
- Asturias J. A., Ibarrola I. Bartolomé B., Ojeda I., Malet A. and Martínez A. (2002). Purification and characterization of Pla a 1, a major allergen from *Platanus acerifolia* pollen. *European Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 57(3): 221-227.
- Atkinson H. and Larsson K.A. (1990). A 10 year record of the arboreal pollen in Stockholm, Sweden. *Grana*, 29:229-237.
- Attorre F., Alfó M., De Sanctis M., Francesconi F., Valenti R., Vitale M. and Bruno F. (2011). Evaluating the effects of climate change on tree species abundance and distribution in the Italian peninsula. *Applied Vegetation Science*, 14(2): 242–255.
- Avolio E., Orlandi F., Bellecci, C., Fornaciaria M. and Federico S. (2012). Assessment of the impact of climate change on the olive flowering in Calabria (southern Italy). *Theor. App. Climato.*, 107(3-4):531-40.
- Aytuğ B. and Güven K.C. (1991). Allergenic significance of Fagaceae pollen. pp: 207-209. In: D'Amato G., Spiekma F.T.M and Bonini S. (eds). Allergenic pollen and pollinosis in Europe. Ed. Blackwell Scientific Publications. Cambridge. England
- Ayuso R., Polo F. Crimia N., Palermo B., Mistretta A. and Carreira J. (1990). Cross reactivity between *Morus alba* and *Parietaria Judaica* pollen allergens. *Folia Allergol. Immunol. Clin.*, 73:25-33.
- Banik S. and Chanda S. (1992). Airborne pollen survey of central calcutta, India, in relation to allergy. *Grana*, 31(1), 72–75.
- Barber D., Moreno C., Ledesma A., Serrano P., Galán A., Villalba M., Guerra F., Lombardero, M. and Rodriguez R. (2007). Degree of Olive pollen exposure and sensitization patterns. Clinical Implication. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 1(17):63-68.
- Barnes Ch., Pacheco F., Landuyt J., Hu F. and Portnoy J. (2001). The effect of temperature, relative humidity and rainfall on airborne ragweed pollen concentrations. *Aerobiologia*, 17:61–68.
- Bartra J., San Miguel-Moncin M., Lombardero M., Alonso R., Fernández B., Tella R. and Cistero-Bahima A. (2004). Rhiniconjunctivitis and bronchial asthma due to monosensitization to *Quercus* pollen. *J Allergy Clin Immunol.*, 113(2): 64-65.
- Bass D. and Morgan G. (1997). A three year (1993–1995) calendar of pollen and *Alternaria* mould in the atmosphere of south western Sydney. *Grana*, 36: 293–300.
- Bastl K., Kmenta M., Pessi A.M., Prank M., Saarto A., Sofiev M., Bergmann K.C., Buters J.T., Thibaudon M., Jäger S. and Berger U. (2016). First comparison of allergen content (Bet v 1 and Phl p 5 measurements) with symptom and pollen data from four European regions during 2009–2011. *Sci. Total Environ.*, 548–549: 229-235.
- Baugnent E. (1991). Contribution à l'étude des previsions de récolte viticole à partir de l'analyse du contenu pollinique de l'atmosphère. *Memorie de fin d'études ENITA*, pp. 54.
- Belmonte J. and Roure J.M (2002a). Aerobiologia en Catalunya: Estación de Lleida (2000-2001). *REA*, 7:155-160.
- Belmonte J. and Roure J.M. (1991). Characteristics of the aeropollen dynamics at several localities in Spain. *Grana*, 30:364-372.

- Belmonte J. and Vila M. (2004) Atmospheric invasion of non-native pollen in the Mediterranean region. *Am. J. Bot.*, 91(8):1243–1250
- Belmonte J., Botey J., Cadahia A., Puigdemunt R. and Roure J.M. (1991). Estudio polínico de la atmósfera de Cataluña. Resultados años 1990-1991. Barcelona: Laboratorios Leti.
- Belmonte J., Canela M., Guardia R., Guardia R.A, Sbai L., Vendrell M., Alba F., Alcázar P., Cabezudo B., Gutiérrez M., Mendez J. and Valencia R. (1999). Aerobiological dynamics of the Urticaceae pollen in Spain. 1992-1998. *Pollen*, 10:79-91.
- Belmonte J., Gabarra E. and Roure J.M. (2002a). Aerobiología en Catalunya: Estación de Barcelona (2000-2001). *Rea*, 7:131-136.
- Belmonte J., Roure J.M. and March X. (1998). Aerobiology of Vigo, North-Western Spain: Atmospheric pollen spectrum and annual dynamics of the most important taxa, and their clinical importance for allergy. *Aerobiologia*, 14:155–163.
- Belmonte J., Roure, J.M. and March F.X. (1996). El espectro polínico atmosférico de la ciudad de Vigo, dinámica y repercusión en la clínica de las alergias. Análisis de seis años de datos. 1º Simposio Europea de Aerobiología, 97-98. Santiago de Compostela.
- Ben Dhiab A., Ben Mimoun M., Oteros J., Garcia-Mozo H., Domínguez-Vilches E., Galán C., Abichou M., and Msallem M. (2016). Modeling olive-crop forecasting in Tunisia. *Theor. Appl. Climatol.*, 128: 541–549.
- Bennighoff W.S. (1980). Aerobiology: Status and Propects: Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Aerobiology, Munich, Republica Federal de Alemania, 13-15 August 1978:1-7. Ed. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Bermejo D. and García A.M. (2002). Aerobiología en Aragón: Estación de Zaragoza (2000-2001). *REA*, 7:101-106.
- Bessot J.C., Sayegh K. and Pauli G. (1992). Phinite pseudo-professionelle et allergie vrai au pollen de papyrus. *Rev. Fr. Allergol.*, 32(4):208-209.
- Bianchini M. and Pacini E. (1996). Explosive anther dehiscence in *Ricinus communis* involves cell wall modifications and relative humidity. *Int. J. Plant. Sci.*, 157:739-745.
- Bicakci A., Inceoglu O., Sapan N. and Malyer H. (1996). Airborne pollen calendar of the central region of Bursa (Turkey). *Aerobiologia*, 12: 43-46.
- Bielory L., Lyons K. and Goldberg R. (2012). Climate change and allergic disease. *Curr. Allergy Asthma Rep.* 12: 485–94.
- Bist A., Kumar L., Roy I., Ravindran P., Gaur S.N. and Singh A.B. (2005). Clinico-immunologic evaluation of allergy to Himalayan tree pollen in atopic subjects in India a new record. *Asian Pac. J. Allergy Immunol.*, 23: 69-78.
- Blackley C.H. (1873). Experimental research on the course and nature of Catorrhhus aestivus (hay fever or hay asthma). pp: 202. London: Balliere, Tindall and Cox.
- Blanca G., Cabezudo B., Cueto M., Salazar C. and Morales Torres C. (2011, eds). Flora Vascular de Andalucía Oriental. p1751. Universidad de Almería, Granada, Jáen y Málaga

- Bogawski P., Grewling L., Nowak M., Smith M. and Jackowiak B. (2014). Trends in atmospheric concentrations of weed pollen in the context of recent climate warming in Poznan (Western Poland). *International Journal of Biometeorology*, 58 (8):1759-1768.
- Bonofiglio T., Orlandi F., Ruga L., Romano B. and Fornaciari M. (2013). Climate change impact on the olive pollen season in Mediterranean areas of Italy: air quality in late spring from an allergenic point of view. *Environmental Monitoring Assessment*, 185(1):877-890.
- Bonofiglio T., Orlandi F., Sgromo C., Romano B. and Fornaciari M. (2009). Evidences of olive pollination date variations in relation to spring temperature trends. *Aerobiologia*, 25(4): 227–37.
- Bonofiglio T., Orlandi F., Sgromo C., Romano B. and Fornaciari M. (2008). Influence of temperature and rainfall on timing of olive (*Olea europaea*) flowering in southern Italy. *New Zeal. J. Crop Hort.*, 36(1):59–69.
- Boral D. and Bhattacharya K. (2000). Aerobiology, allergenicity and biochemistry of three pollen types in Berhampore town of West Bengal, India. *Aerobiologia*, 16:417-422.
- Boral D., Chatterjee S. and Bhattacharya K. (2004). The occurrence and allergising potential of airborne pollen in West Bengal, India. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11: 45–72.
- Bousquet J., Cour P., Guerin B. and Michel F.B. (1984). Allergy in the Mediterranean area. I. Pollen counts and pollinosis of Montpellier. *Clin. Allergy*, 14:249–258.
- Bousquet J., Guérin B., Hewitt B., Lim B., Michel F.B. (1985). Allergy in the Mediterranean area. III: Cross-reactivity among *Oleaceae* pollens. *Clin. Allergy*, 15: 439–48.
- Bringfelt B., Engström I. and Nilsson S. (1982). An evaluation of some models to predict airborne pollen concentration from meteorological conditions in Stockholm, Sweden. *Grana*, 21:59-64.
- Bucholtz G.A., Hensel A.E., Lockey R.F., Serbousek D. and Wunderlin R.P. (1987). Australian pine (*Casuarina equisetifolia*) pollen as an aeroallergen. *Ann. Allergy*, 59:52-6.
- Buckley R., Patel S. and Carr T.F. (2016). Retrospective Analysis of Allergy Skin Testing Results and Relationship to Asthma in the Tucson Adult Population. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 137(2), AB4.
- Burdon J.J. and Burdon J.G.W. (1983). Allergy associated with Paterson's curse. *Med. J. Aust.*, 2:87-8.
- Burgos F. (1991). Pólenes y medio ambiente: sensibilizaciones polínicas en Andalucía. Actas XX reunión de la Asociación de Alergólogos e Inmunólogos del Sur (AISUR). Huelva. España. Junio 1999. pp: 134-141.
- Burr M.L. (1999). Grass pollen: trends and predictions. *Clinical and Experimental Allergy, Journal of the British Society for Allergy and Clinical Immunology*, 29(6):735-738.
- Bustan A., Avni A., Lavee S., Zipori I., Yeselson Y., Schaffer A. A., Riov J. and Dag A. (2011). Role of carbohydrate reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europaea*). *Tree Physiology*, 31:519–530.
- Cabezudo B., Arenas Posada J.A., Garcia Martin F. and Nieto Caldera J.M (1992). Catálogo de las Umbelíferas (Apiaceae) Malacitanas (Málaga; España). *Acta Bot. Malacitana*, 17: 145-166.
- Cabezudo B., Devesa J.A., Tormo R., Vázquez F. and Nieto J.M. (1990). Catálogo de gramíneas malacitanas. *Acta Bot. Malacitana*, 15: 91–123.



- Cabezudo B., Pérez Latorre A.V., Navarro T. and Nieto Caldera J.M. (1993). Estudio fenomorfológico en la vegetación del sur de España. II. Alcornocales Mesomediterráneos (Montes de Málaga, Málaga). *Acta Bot. Malacitana*, 18: 179-188.
- Cabezudo B., Recio M., Sánchez-Laulhé J.M., Trigo M.M., Toro F.J. and Polvorinos F. (1997). Atmospheric transportation of marijuana pollen from North Africa to the Southwest of Europe. *Atmospheric Environment*, 31: 3323-3328.
- Cabezudo B., Trigo M.M., Recio M. and Toro F.J. (1994). Contenido polínico de la atmósfera de Málaga: años 1992 y 1993. *Acta Bot. Malacitana*, 19:137-44.
- Cabezudo B., Toro F.J., Recio M. and Trigo M.M. (1998). Aerobiología en Andalucía: Estación de Estepona (1995–1996), *REA*, 3:37-40.
- Caeiro E., Brandao R., Carmo S., Lopes L., Morais de Almeida M., Gasper A. et al. (2007). The Portuguese Aerobiology Network: Airborne pollen results (2002-2006). *Rev. Port Imunolalergologia*, 15(3):235-250.
- Caiaffa M.F., Macchia L., Strada S., Bariletto G., Scarpelli F. and Tursi A. (1993). Airborne Cupressaceae pollen in Southern Italy. *Annals of Allergy*, 71:45–50
- Caimmi D., Raschetti R., Pons P., Dhivert-Donnadieu H., Bousquet P.J., Bousquet J. and Demoly P. (2012). Epidemiology of Cypress Pollen Allergy in Montpellier. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 22(4): 280-285.
- Calleja M. and Farrera I. (2003). Le cypres: un nouveau fleau pour la région Rhone-Alpes? *Allergy Immunol.*, 35:92–96.
- Candau P., Carrasco M., Pérez Tello A.M., González minero F.J. and Morales J. (2002a). Aerobiología en Andalucía: Estación de Cádiz (2000-2001). *Rea*, 7: 43-48.
- Candau P., Pérez Tello, A.M., González Minero F.J., Carrasco, M. and Morales J. (2002b). Aerobiología en Andalucía: Estación de Sevilla (2000-2001). *Rea*, 7:95-100.
- CAPDR. (2016a). Observatorio de Precios y Mercados. Productos Industriales. Aceite de Oliva. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía, Sevilla, Spain. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=Subsector&table=3940&ec=subsector&subsector=33>.
- Caramiello R., Siniscalco C., Mercalli L. and 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.
- Caramuti V.E., Naab O.A. and Murray M.G. (2014). First report of airborne pollen in Santa Rosa, la Pampa, Argentina: 2-year survey. *Aerobiologia*, 30: 293-305.
- Cariñanos P., Adinolfi C., Díaz de la Guardia C., De Linares C., and Casares Porcel M. (2016). Characterization of allergen emission sources in urban areas. *Journal of Environmental Quality*, 45:244–252.
- Cariñanos P., Alcázar P., Galán C. and 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*. 470-471:480-487.

- Cariñanos P., Casares-Porcel M. and Quesada-Rubio J.M. (2014). Estimating the allergenic potential of urban green spaces: a case-study in Granada, Spain. *Landsc. Urban. Plan.*, 123:134–144.
- Cariñanos P., Casares-Porcel M., De la Cruz-Marquez R. and Díaz de la Guardia C. (2013). Pollen emissions as environmental indicators of urban and peri-urban forests. *Intersezioni*, 40:1–3.
- Cariñanos P., Galán C., Alcázar P. and Domínguez E. (2004a). Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of Iberian Peninsula. *Environ. Experi. Bot.*, 52: 11–22.
- Cariñanos P., Galán C., Alcázar P. and Domínguez E. (2004b). Analysis of the particles transported with dust-clouds reaching Córdoba, southwestern Spain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 46:141–146.
- Cariñanos P., Galán C., Alcázar P. and Domínguez E. (2010). Airborne pollen records and status of the Anemophilous Flora in arid areas of the Iberian Peninsula. *J. Arid. Environ.*, 74:205–214.
- Cariñanos P., Galán C., Alcázar P. and Domínguez, E. (2000b). Allergenic pollen in the subdesert areas of the Iberian Peninsula. *J. Investig. Allergol. Clin. Immuno.*, 10:242-247.
- Cariñanos P., Galán C., Alcázar P., Velasco A. and Domínguez E. (2002a). Aerobiología en Andalucía: Estación de Chirivel (2000). *REA*, 7:39-42.
- Cariñanos P., Sánchez-Mesa J.A., Prieto J.C., Lopez, A., Guerra F., Moreno C., Domínguez E. and Galán C. (2002b). Pollen allergy related to the area of residence in the city of Cordoba, south-west Spain. *J. Environ. Monit.*, 4:734-738.
- Carracedo-Martínez E., Sánchez C., Taracido M., Saez M., Jato V. and Figueiras A (2008). Effect of short-term exposure to air pollution and pollen on medical emergency calls: A case crossover study in Spain. *Allergy*, 63 (3): 347–35.
- Carretero P., Juste S., García-González F., Alloza P., Perez R., Blanco J., Reinares C., Vicente J. and Bascones O. (2005). Polenos alergenicos y polinosis en la ciudad de Burgos. *Alergol. Inmunol. Clin.*, 20:90-96.
- Castroviejo S. et al. (1986-2012) (eds). Flora Iberica. Plantas vasculares de la península Ibérica e Islas Baleares, vol 1-8, 14, 21. Real Jardín Botánico, CSIC. Madrid.
- Cecchi L., D'Amato G., Ayres J. G., Galán C., Forastiere F., Forsberg B., Gerritsen J., Nunes C., Behrendt H., Akdis K., Dahl R. and Annesi-Maesano I. (2010). Projections of the effects of climate change on allergic asthma: The contribution of aerobiology. *Allergy*, 65 (9), 1073–1081.
- Cecchi L., Morabito M., Domeneghetti M.P., Crisci A., Onorari M. and Orlandini S. (2006). Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Ann Allergy Asthma Immunol.*, 96(1):86–91.
- Cenci C.A. and Ceschia M. (2000). Forecasting of the flowering time for wild species observed at Guidonia, central Italy. *International Journal of Biometeorology*, 44:88-96.
- Chakraborty P., Gupta Bhattacharya S., Chakraborty C., Lacey J. and Chanda S. (1998). Airborne allergenic pollen grains on a farm in West Bengal, India. *Grana*, 37, 53–57.
- Chanda S. (1991). Presidential address: aerobiology science in progress. *Grana*, 30:5-8.
- Chauhan S.V.S. and Goyal R. (2006). Pollen calendar of Agra city with special reference to allergenic significance. *Journal of Environmental Biology*, 27:275-281.



- Chłopek K. (2007). Grass pollen (Poaceae) in the air of Sosnowiec (Poland), 1997–2006. *Acta Agrobotanica*, 60(2):79–86.
- Cleland E.E., Chuine I., Menzel A., Mooney H.A and Schwartz M.D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 22: 357–365.
- Clot B. (2003). Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia*, 19:227–234.
- Clot B., Gehrig R., Pauling A. and Pietragalla B. (2012). The wind of change: effects of climate change on airborne pollen concentrations. *Alergol. Immunol.*, 9: 130-140.
- Colombo P., Bonura A., Costa M., Izzo V., Passantino R., Locorotondo G., Amoroso S. and Geraci D. (2003). The allergens of *Parietaria*. *Int. Arch. Allergy Immunol.*, 130:173–179.
- Comtois P. (1997). Historical biography. Pierre Miquel: the first professional aerobiologist. *Aerobiologia*, 13: 75-82.
- Comtois P. and Gagnon L. (1990). La biologie du pollen de l'herbe à poux, Bulletin de l'institut Botanique de Montréal, 14: 10-14.
- Conde J., Benjumeda A., Fernandez L., Prieto R., Chaparro A. and De la Calle A. (2002). Oleaceas. En: Valero, A.L. & Cadahia, A. Polinosis. Polen y Alergias: 99-119. MRA Ediciones, Barcelona.
- Corden J. and Millington W. (1999). A study of *Quercus* pollen in the Derby area, UK. *Aerobiologia*, 15: 29-37.
- Corden, J. and Millington, W. (1991). A study of Gramineae and Urticaceae in the Derby area. *Aerobiologia*, 7:100-106.
- Cornfold C.A., Fountain D.W. and Burr R.G. (1990). IgE-binding proteins from pine (*Pinus radiata* D. Don) pollen: evidence for cross-reactivity with ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Int. Arch. Allergy Appl. Immunol.*, 93:41-46.
- Cosmes Martín P.M, Moreno Ancillo A., Domínguez Noche C., Gutiérrez Vivas A., Belmonte Soler J. and Roure Nolla J.M. (2005). Sensitization to *Castanea sativa* pollen and pollinosis in Northern Extremadura (Spain). *Allergologia et Immunopathologia*, 33:145-150.
- Cour P. and Van Campo M. (1980). Prevision de récoltes á partir de l'analyse du contenu pollinique de l'atmosphère. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 290: 1043-1046.
- Cour P., Zheng Z., Duzer D., Calleja M. and Yao Z. (1999). Vegetational and climatic significance of modern pollen rain in northwestern Tibet. *Rev. Paleobot. Palynol.*, 104:183–204.
- Couturier P., Coste P., Mallea M. and Soler M. (1977). Allergie au pollen de colza, a propos de 2 observations dans la meme fraterie. *Rev. Fr. Allergol*, 17:51-52.
- Crawford C., Reponen T., Lee T., Iossifova Y., Levin L., Adhikari A., Grinshpun S. A. (2009). Temporal and spatial variation of indoor and outdoor airborne fungal spores, pollen, and (1→3)-β-Dglucan. *Aerobiologia*, 25:147–58.
- Cristofori A., Cristofolini F. and Gottardini E. (2010). Twenty years of aerobiological monitoring in Trentino (Italy): assessment and evaluation of airborne pollen variability. *Aerobiologia*, 26:253-261.



- Cunha M., Abreu I., Pinto P., and De Castro R. (2003). Airborne pollen samples for early-season estimates of wine production in a Mediterranean climate area of northern Portugal. *Am. J. Enol. Vitic.* 54:189-194.
- Cvitanovic S. and Marusic M. (1994). Hypersensitivity to pollen allergens on the Adriatic coast. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 4 (2): 96-100.
- Dahl A. and Strandhede S.O. (1996). Predicting the intensity of the birch pollen season. *Aerobiologia*, 12:97-106.
- D'Amato G. and Liccardi G. (1994). Pollen related allergy in the European Mediterranean area. *Clinical and Experimental Allergy*, 24:210-219.
- D'Amato G. and Lobefalo G. (1989). Allergenic pollens in the southern Mediterranean area. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 83(1):116-122.
- D'Amato G. and Spieksma F.T.H.M. (1990). Allergenic pollen in Europe. *Grana*, 30:67-70.
- D'Amato G., Cecchi L., Bonini S., Nunes C., Annesi-Maesano, I. Behrendt H., Liccardi G, Popov T. and Van Cauwenberge P. (2007). Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 62:976-990.
- D'Amato G., Cecchi L., D'Amato M. and Annesi-Maesano I. (2014). Climate change and respiratory diseases. *Eur. Respir. Rev.* 23(132):161-9.
- D'Amato G., Spieksma F. Th. M, Liccardi G. Jäger S., Russo M., Kontou-Fili K., Nikkels H., Wüthrich B. and Bonini S. (1998). Pollen-related allergy in Europe. Position Paper of the European Academy of Allergology and Clinical Immunology. *Allergy*; 53:567-578.
- D'Amato G., Vitale C., Lanza M., Molino A. and D'Amato M. (2016). Climate change, air pollution, and allergic respiratory diseases: an update. *Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol.*, 16(5):434-440.
- D'Amato G., Pawankar R., Vitale C., Lanza M., Molino A., Stanziola A., Sanduzzi A., Vatrella A. and D'Amato M. (2016). Climate Change and Air Pollution: Effects on Respiratory Allergy. *Allergy Asthma Immunol. Res.*, 8(5): 391-395.
- D'Amato G. and Cecchi L. (2008) Effects of climate change on environmental factors in respiratory allergic diseases. *Clin. Exp. Allergy*, 38: 1264-1274.
- D'Amato G. and Spieksma F.T.H.M. (1992). European allergenic pollen types. *Aerobiologia*, 8:447-450.
- D'Amato G., Cecchi L., D'Amato M. and Liccardi G. (2010). Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.*, 20: 95-102.
- D'Amato G. and Spieksma F.T. (1995). Aerobiologic and clinical aspects of mould allergy in Europe. *Allergy*, 50: 870-877.
- Damialis A., Christina Fotiou, Hally John M. and Vokou D. (2011). Effect of environmental factor son pollen production in anemophilous woody species. *Trees*, 25:253-264.
- Damialis A., Gioulekas D., Lazopoulou C., Balafoutis C. and Vokou D. (2005). Transport of airborne pollen into the city of Thessaloniki: the effects of wind direction, speed and persistence. *International Journal of Biometeorology*, 49 (3):139-145.



- Damialis A., Halley J.M, Gioulekas D. and Vokou D. (2007). Long-term trends in atmospheric pollen levels in the city of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, 41(33):7011-7021.
- Davies R. R. and Smith L. P. (1973). Forecasting the start and severity of the hay fever season. *Clinical Allergy*, 3: 263-267.
- De Benito V. and Soto J. (2001). Pollinosis and pollen aerobiology in the atmosphere of Santander. *Alergol. Inmunol. Clin.*, 16:84-90.
- De Castro M., Martín-Vide J. and Alonso S. (2005). El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. In: Moreno Rodríguez, J.M. (Ed.), Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 1-65.
- De Linares C. (2007). Análisis del polen alérgico en la atmósfera de Granada: Evolución de las concentraciones polínicas, actividad e incidencia en la población atópica. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada.
- 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., Gutierrez-Bustillo A.M., Pérez-Badia R., Rodríguez-Rajo F.J., Ruiz-Valenzuela L., Tormo-Molina R., Trigo M.M., Valencia-Barrera R.M., Valle A. and Belmonte J. (2017). Changes in the Mediterranean pine forest: pollination patterns and annual trends of airborne pollen. *Aerobiologia*, 33:375-391.
- De Linares C., Nieto-Lugilde D., Alba F., Díaz de la Guardia C., Galán C. and Trigo M. M. (2007). Detection of airborne allergen (Ole e 1) in relation to *Olea europaea* pollen in S Spain. *Clinical and Experimental Allergy*, 37 (1), 125-132.
- De Linares-Fernández C., Belmonte J., de la Guardia-Guerrero C.D., González P.C., Pérez S.A. and Cuevas E. (2011). Airborne *Pinus* pollen diversity and annual pollination pattern in Spain. *Polen*, 21: 45-49.
- De Weerd N.A., Bhalla P.L. and Singh M.B. (2002). Aeroallergens and pollinosis: molecular and immunological characteristics of cloned pollen allergens. *Aerobiologia*, 18(2):87-106.
- De Weger L.A., Beerthuisen T., Hiemstra P.S. and Sont J.K. (2014). Development and validation of a 5-day-ahead hay fever forecast for patients with grass-pollen-induced allergic rhinitis. *Int. J. Biometeorol*, 58:1047-1055.
- Dedic A., Himly M., Engel E. Richter K. and Ferreira F. (2002). Structural characterization of Art v 1, the major mugwort pollen allergen. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 109(1): S131.
- Del Río S., Herrero L., Pinto-Gomes C. and Penas A. (2011). Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global Planet. Change*, 78 (1): 65-75.
- Dennis F.G. JR. (1984). *Flowering*. In: *Physiological Basis of Crop Growth and Development*. Ed. M.B. Tesar, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 237-263.
- Díaz de la Guardia C., Alonso R., Alba F., Valle F. (1995). Airborne grass pollen in Granada (Spain). *Aerobiologia*, 11:47-50.

- Díaz de la Guardia C., Francisca A., Trigo M.M., Galán C, Ruíz L. and Sabariego S. (2003). Aerobiological analysis of *Olea europaea* L. pollen in different localities of southern Spain. *Grana*, 42:234-243.
- Díaz de la Guardia C., Alba F., De Linares C., Nieto-Lugilde D. and López Caballero J. (2006). Aerobiological and allergenic analysis of Cupressaceae pollen in Granada (Southern Spain). *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.*, 16 (1):24-33.
- Díaz de la Guardia C., Alba F., De Linares C., Nieto-Lugilde D. and Sabariego S. (2003). Diez años de control aerobiológico en la atmósfera de la ciudad de Granada: calendario polínico (1992-2001). *Polen*, 13:251-260.
- Díaz de la Guardia C., Alba F., Giron F. and Sabariego S. (1998). An aerobiological study of Urticaceae pollen in the city of Granada (S. Spain): correlation with meteorological parameters. *Grana*, 37:298-304.
- Díaz de la Guardia C., Alba F., Trigo M.M., Galán C., Ruíz L. and Sabariego S. (2003). Aerobiological analysis of *Olea europaea* L. pollen in different localities of southern Spain. *Grana*, 42(4):234–243.
- Díaz de la Guardia C., Sabariego S., Alba F., Ruiz L., Garcia Mozo H., Toro F.J., Valencia R. Rodriguez Rajo F.J., Guardia A. and Cervign P. (1999). Aeropalynological study of the genus *Platanus* L. in the Iberian Peninsula. *Polen*, 10:93-101.
- Díaz M. R., Iglesias I. and Jato V. (1998). Seasonal variation of airborne fungal spore concentrations in a vineyard of North-West Spain. *Aerobiologia*, 14, 221–227.
- Díaz-Perales A., Lombardero M., Sánchez-Monge R., Garcia-Selles F. J., Pernas M., Fernández-Rivas M., Barber D. and Salcedo G. (2000). Lipid-transfer proteins as potential plant panallergens: Cross-reactivity among proteins of *Artemisia* pollen, *Castanea* nut and *Rosaceae* fruits, with different IgE-binding capacities. *Clinical and Experimental Allergy*, 30: 1403–1410.
- Díez herrero A., Gutierrez M., Santiago Luis A. and Pérez Hermansaiz R.I (2002). Aerobiología en Madrid: Estación de Aranjuez (2000-2001). *REA*, 7:231-236.
- Docampo S. (2008). Estudio aerobiológico de la atmosfera de la costa oriental de Málaga (Sur de España) e incidencia de las esporas fúngicas en el interior de la cueva de Nerja. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, Málaga.
- Docampo S., Recio M., Trigo M.M., Melgar M. and Cabezudo B. (2007). Risk of pollen allergy in Nerja (Southern Spain): A pollen calendar. *Aerobiologia*, 23:189–199.
- Docampo S., Trigo M.M., Recio M., Melgar M., García-Sánchez J. and Cabezudo B. (2011). Fungal spore content of the atmosphere of the Cave of Nerja (southern Spain): diversity and origin. *Sci. Total Environ.*, 409:835–843.
- Domínguez Vilches E., Galán C., Guerra F., Villamandos F., Infante F. and Mediavilla A. (1993a). Spring pollen and related allergies in Southern Spain. *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.*, 3(5):271-275.
- Domínguez E., Infante F., Galán C., Guerra F. and Villanandos, F. (1993b). Variation in the concentrations of airborne *Olea* pollen and associated pollinosis in Cordoba (Spain): A study of the 10-year period 1982-1991. *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.*, 3(3):121-129.

- Domínguez Vilches, E., Ubera, J.L., and Galán, C. (1984). Polen alergógeno de Córdoba. Publicaciones del Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba, España. 149p.
- Dopazo A. (2001). Variación estacional y modelos predictivos de polen y esporas aerovagantes en Santiago de Compostela. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Dopazo A., Herves M. and Aira M.J. (2002). Aerobiología en Galicia: Estación de Santiago de Compostela (2000-2001). *REA*, 7:189-194.
- Driessen M.N.B.M. and Derksen J.W.M. (1989). The principal airborne and allergenic pollen species in the Netherlands. *Aerobiologia*, 5:87-93.
- Drzeniecka-Osiadacz A., Krynicka J., Malkiewicz M., Klaczak K. and Migala K. (2015). Statistical modelling of the main features of the Artemisia pollen season in Wrocław, Poland, during the 2002-2011 time period. *Theoretical and Applied Climatology*, 119:419-432.
- Dvorin D.J., Lee J.J., Belecanech G.A., Goldstein M.F. and Dunsky E.H. (2001). A comparative, volumetric survey of airborne pollen in Philadelphia, Pennsylvania (1991–1997) and Cherry Hill, New Jersey (1995–1997). *Annals of Allergy, Asthma, & Immunology*, 87, 394–404.
- Edmonds L.R (1979). Aerobiology, The Ecological Systems Approach. US/IBP synthesis series 10. Publ. Dowden, Hutchinson y Ross, p386.
- Egger C., Focke M., Bircher A.J. Scherer K., Mothes-Luksch N., Horak F. and Valenta R. (2008). The allergen profile of beech and oak pollen. *Clinical and Experimental allergy*, 38(10):1688-1696.
- Ekeboom A., Vesterberg O. and Hjelmroos M. (1996), Detection and quantification of airborne birch pollen allergens on PVDF membranes by immunoblotting and chemiluminescence. *Grana*, 35, 113–118.
- Elvira-Rendueles B. (2001). Caracterización aeropalínológica del bioaerosol atmosférico de Cartagena. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Elvira-Rendueles B., Zapta J.J, Miralles J.C., Moreno J.M. García-Sánchez A., Negral L. and Moreno-Grau S. (2017). Aerobiological importance and allergic sensitization to Amaranthaceae under arid climate conditions. *Science of the Total Environment*, 583:478-486.
- Emberlin J. (1994). The effects of patterns in climate and pollen abundance on allergy. *Allergy*, 49: 15-20.
- Emberlin J. and Norris-Hill J. (1991). Annual, daily and diurnal variation of Urticaceae pollen in North-central London. *Aerobiologia*, 7:49-57.
- Emberlin J. Savage M. and Jones S. (1993). Annual variations in grass pollen seasons in London 1961-1990: trends and forecast models. *Clinical and Experimental Allergy*, 23(11):911-918.
- Emberlin J. (2000). Aerobiology. W.W. Busse, S.T. Holgate (Eds.), Asthma and Rhinitis, vol. 2, Blackwell Science. Emberlin J., Mullins J., Corden J., Millington W., Brooke M., Savage M. and Jones S. (1997). The trend to earlier birch pollen seasons in the U.K.: a biotic response to changes in weather conditions? *Grana*, 36:29-33.
- Emberlin J., Jaeger S. Domínguez-Vilches E., Galán C., Hodal L., Mandrioli P., Lehtimaki A.R., Savage M., Spieksma F.th. and Bartlett C. (2000). Temporal and geographical variations in grass pollen

- seasons in areas of Western Europe: an analysis of season dates at sites of the European pollen information system. *Aerobiologia*, 16:373-379.
- Emberlin J., Jones S, Bailey J., Caulton E., Corden J., Dubbels S., Evans J., McDonagh N., Millington W., Mullins J., Russel R. and Spencer T. (1994). Variation in the start of the grass pollen season at selected sites in the UK 1987–1992. *Grana*, 33:94–9.
- Emberlin J., Mullins J., Corden J., Jones S., Savage J., Millington W., Brooke M. and Savage M. (1999). Regional variations in grass pollen seasons in the UK, long term trends and forecasts models. *Clin. Exp. Allergy*, 29: 347–356.
- Emberlin J., Norris-Hill J. and Bryant R.H. (1990). A calendar for pollen tree in London. *Grana*, 29:301-309.
- Emberlin J., Smith M., Close R., and Adams-Groom B. (2007). Changes in the pollen seasons of the early flowering trees *Alnus* spp. and *Corylus* spp. in Worcester, United Kingdom, 1996–2005. *Int. J. Biometeorol.*, 51:181–191.
- Emberlin J. (1997). Grass, tree and weed pollens. In: Kay AB (ed) Allergy and allergic diseases, vol 2. Blackwell, oxford.
- Emeryk A., Chojna E. Emeryk M.B. and Postepski J. (2004). Prevalence of asthma and some respiratory symptoms in the years 1995 and 2001 in scholl children from rural regions of Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11: 63-66.
- Erdman G. (1966). Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms. Hafner Publication Company, New York.
- Erdman G. (1986). Pollen and Plant Taxonomy Angiosperms. Hafner Publ. Co., New York, 553 pp.
- Erdtman G. (1952). Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms. (An introduction to palinology). Almqvist & Wiksell, Stockholm, Suecia.
- Erdtman G. (1969). Handbook of palynology. An introduction to to the study of pollen grains and spores. Muksgaard. Copenhagen. Dinamarca.
- Eriksson N. E. (1978). Allergy to pollen from different deciduous trees in Sweden. *Allergy*, 33: 299-309.
- Erkan P., Bıçakçı A., Aybeke M. and Malyer H. (2011). Analysis of airborne pollen grains in Kırklareli. *Turkish Journal of Botany*, 35: 57–65.
- ESYRCE (2015). Encuesta sobre superficies y rendimientos cultivos (ESYRCE). Encuesta de Marco de Áreas de España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>.
- Ezeamuzie C.I., Al-mousawi M., Dashti H., Al-Bashir A., Al-hage M. and Al-Ali S. (1997). Prevalence of allergic sensitization to inhalant allergens among blood donors in Kuwait-a desearth country. *Allergy*, 52:1194-1200.
- Faegri K. and Iversen J. (1975). Textbook of pollen analysis. Ed. Munkgaard. Copenhagen, Dinamarca.
- Faegri K., Iveren L., Kaland P.E. and Krzywinski K. (1989). Textbook of Pollen Analysis (4th ed.). John Wiley & Sons. New York, 328 p.

- Famularo G., Petrucci C., Giacomelli C. and Tonietti G. (1992), Aerobiological survey in L'Aquila (Italy) throughout 1988 to 1990. *Aerobiologia*, 8: 359–363.
- FAOSTAT (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics division. <http://faostat3.fao.org/home/E>.
- Farnham J.E. and Vaida G.A. (1982). A new look at new England tree pollen. *Allergy and Asthma proceedings*, 3(2):320-326.
- Fernández C., Martín-Esteban M., Fiandor A., Pascual C., López-Serrano C., Martínez-Alzamora F., Díaz-Pena J.M. and Ojeda-Casas J.A. (1993). Analysis of cross reaction between sunflower pollen and other pollens of the Compositae family. *J. Allergy Clin. Immunol.* 92(5): 660-667.
- Fernández Casado M.A., Nava H.S. and Suárez F.J. (2002). Aerobiología en Asturias: Estación de Oviedo (2000-2001). *REA*, 7:107-112.
- Fernández F.J., Ladux J.L. and Searles P.S. (2015). Dynamics of shoot and fruit growth following fruit thinning in olive trees: same season and subsequent season responses. *Sci.Horti.*, 192: 320-330.
- Fernández-Escobar R., Moreno R. and Sánchez-Zamora M.A. (2004). Nitrogen dynamics in the olive bearing shoot. *Hortic. Sci.*, 39(6):1406–1411.
- Fernández-González F., Loidi J., Moreno J.C., del Arco M., Fernández-Cancio A., Galán C., García-Mozo H., Muñoz J., Pérez-Badia R., Sardinero S. and Tellería M. (2005). Impact on plant biodiversity. In: Moreno, J.M. (Ed.), *Impacts on Climatic Change in Spain*. OCCE. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Spain, pp. 183– 248.
- Fernández-González D., Valencia R.M., Vega A., Díaz de la Guardia C., Trigo M.M., Cariñanos P., Guardia A., Pertíñez C. and Rodríguez-Rajo F.J. (1999). Analysis of grass pollen concentrations in the atmosphere of several Spanish sites. *Polen*, 10: 127–136.
- Fernández-González M., Guedes A., Abreu I. and Rodríguez-Rajo F.J. (2013). Pla a<sub>1</sub> aeroallergen immunodetection related to the airborne *Platanus* pollen content. *Sci. Total Environ.*, 463–464: 855-860.
- Fernández-González D., González-Parrado Z., Valencia R.M., Mandrioli P. Determinazione degli allergeni del Platano in atmosfera. (2009). *Eur. J. Aerobiol. Environ. Med.*, 25:95–7.
- Fernández-González D., González-Parrado Z., Vega-Maray A. M., Valencia-Barrera R.M., Camazon-Izquierdo B., De Nuntiis P. and Mandrioli P. (2010). *Platanus* pollen allergen, Pla a<sub>1</sub>: quantification in the atmosphere and influence on a sensitizing population. *Clinical & Experimental Allergy*, 40:1701–1708.
- Fernández-González D., Valencia-Barrera R.M., Vega A., Díaz de la Guardia C., Trigo M.M., Cariñanos P., Guardia A., Pertíñez C. and Rodríguez-Rajo F.J. (1999). Analysis of grass pollen concentrations in the atmosphere of several Spanish sites. *Polen*, 10:123–132.
- Fernández-Lllescas F., Nieva F. J., Silva I., Tormo R. and Muñoz A. F. (2010). Pollen production of Chenopodiaceae species at habitat and landscape scale in Mediterranean salt marshes: An ecological and phenological study. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 161: 127–136.
- Fernández-Llamazares Á., Belmonte J., Alarcón M. and López-Pacheco M. (2012). *Ambrosia* L. in Catalonia (NE Spain): expansion and aerobiology of a new bioinvader. *Aerobiologia*, 28:435-451.

- Fernández-Llamazares A., Belmonte J., Delgado R. and De Linares C. (2014). A statistical approach to bioclimatic trend detection in the airborne pollen records of Catalonia (NE Spain). *Int. J. Biometeorol.*, 58:371-382.
- Fernández-Rodríguez S., Skjøth C.A., Tormo-Molina R., Brandao R., Caeiro E., Silva-Palacios I., Gonzalo-Garijo A. and Smith M. (2014). Identification of potential sources of airborne *Olea* pollen in the Southwest Iberian Peninsula. *Int. J. Biometeorol.*, 58: 337-348.
- Fernández-Rodríguez S., Adams-Groom B., Silva-Palacios I., Caeiro E., Brandao R., Ferro R., Gonzalo-Garijo A., Smith M. and Tormo Molina R (2015a). Comparison of Poaceae pollen counts recorded at sites in Portugal, Spain and the UK. *Aerobiologia*, 31(1):1–10.
- Fernández-Rodríguez S., Duran-Barroso P., Silva Palacios I., Tormo-Molina R. Maya-Manzano J.M. and Gonzalo-Garijo A. (2016). Regional forecast model for the *Olea* pollen season in Extremadura (SW Spain). *International Journal of Biometeorology*, 60 (10):1509-1517.
- Fernández-Rodríguez S., Tormo-Molina R., Maya-Manzano J.M., Silva-Palacios I. and Gonzalo-Garijo A. (2014a). A comparative study on the effects of altitude on daily and hourly airborne counts. *Aerobiologia*, 30:257-268.
- Fernández-Rodríguez S., Tormo-Molina R., Maya-Manzano J.M., Silva-Palacios I. and Gonzalo-Garijo A. (2014b). 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.
- Ferreiro M., Núñez R., Rico M., Soto T. and López R. (1998), Pólenes alergénicos y polinosis en el área de La Coruña. *Rev. Esp. de Alerg. e Inmunol. Clin.* 13: 98–101.
- Ferreiro M., Dopazo A. and Aira M.J. (2002). Incidence of pollinosis in the city of A Coruña: correlation with aerobiological data. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 12: 124-129.
- Ferrer L. Carnes J., Rojas-Hijazo B. Lopez-Matas M.A. Sobrevia M.T. and Colas C. (2012). Assessing degree if flowering implicates multiple Chenopodiaceae/Amaranthaceae Species in Allergy. *International Archives of Allergy and Immunology*, 158:54-62.
- Florido J.F., Delgado P.G., de San Pedro B.S., Quiralte J., de Saavedra J.M.A., Peralta V. and Valenzuela L.R. (1999). High levels of *Olea europaea* pollen and relation with clinical findings. *International Archives of Allergy and Immunology*, 119:133-137.
- Focke M., Gieringer E., Schwan S., Jänsch L., Binder S. and Braun H.P. (2003). Fatty acid biosynthesis in mitochondria of grasses: malonyl-CoA is generated by a mitochondrial-localized acetyl-CoA carboxylase. *Plant Physiology*, 133: 875-884.
- Focke M., Hemmer W., Hayek B., Gotz M. and Jarisch R. (1998). Identification of Allergens in Oilseed Rape (*Brassica napus*) pollen. *International Archives of Allergy and Immunology*, 117:105-112.
- Fornaciari M., Bricchi E., Frenguelli G. and Romano B. (1996). The result of 2-year pollen monitoring on fan urban network in Perugia, Central Italy. *Aerobiologia*, 219-227.
- Fornaciari M., Galán C., Mediavilla A., Domínguez E. and Romano B. (2000). Aeropalinological and phenological study in two different Mediterranean olive areas: Córdoba (Spain) and Perugia (Italy). *Plant Biosyst.*, 134:199–204.
- Fornaciari M., Orlandi F. and Romano B. (2005). Yield forecasting for olive trees: a new approach in a historical series (Umbria, Central Italy). *Agronomy J.*, 97: 1537– 1542.



- Fornaciari M., Pieroni L., Orlandi F. and Romano B. (2002) A new approach to consider the pollen variable in forecasting yield models. *Econ. Bot.*, 56:66–72.
- Fotiou C., Damialis A., Krigas N., Halley J.M. and Vokou D. (2011). *Parietaria Judaica* flowering phenology, pollen production, viability and atmospheric circulation, and expansive ability in the urban environment: Impacts of environmental factors. *International Journal of Biometeorology*, 55: 35–50.
- Fountain D.W. and Cornford C.A. (1991). Aerobiology and Allergenicity of *Pinus radiata* pollen in New-Zealand. *Grana*, 30:71-75.
- Freeman G.L. (1983). Allergic skin test reactivity to marijuana in the southwest. *West J. Med.*, 138: 829-831.
- Frei Th. (1998). The effect of climate change in Switzerland 1969– 1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass. *Grana*, 37: 172–179.
- Frei Th. and Leuschner R. M. (2000). A change from grass pollen induced allergy to tree pollen induced allergy: 30 years of pollen observation in Switzerland. *Aerobiologia*, 16: 407–416.
- Frei Th. and Gassner E. (2008). Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969–2006. *Int. J. Biometeorol.*, 52(7):667–674.
- Freguelli G. (1998). The contribution of aerobiology to agriculture. *Aerobiologia*, 14: 95-100.
- Freguelli G. (2002). Interactions between climatic changes and allergenic plants. *Monaldi Arch. Chest. Dis.*, 752:141-143.
- Freguelli G. (2003). Pollen structure and morphology. *Postep. Derm. Alergol.*, 20: 200-204.
- Freguelli G. and Bricchi E. (1998). The use of the pheno-climatic model for forecasting the pollination of some arboreal taxa. *Aerobiologia*, 14:39–44.
- Freguelli G., Bricchi E., Romano B., Mincigrucci G. and Spiekma, F.Th. M. (1989). A predictive study on the beginning of the pollen season for Gramineae and *Olea europaea* L. *Aerobiologia*, 5(1):64-70.
- Freguelli G., Ghitarrini S. and Tedeschini E. (2014a). Climatic changes in Mediterranean area and pollen monitoring. *Flora Mediterr.*, 24:99–107.
- Freguelli G., Ghitarrini S. and Tedeschini E. (2014b). Possible relation between climate change and pollination of grasses in Central Italy. 10th International Congress of Aerobiology, Sydney.
- Freguelli G., Spiekma F. Th. M., Bricchi E., Romano B., Minigrucci G., Nikkels A. H., Dankaart W. and Ferranti P. (1991). The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana*, 30: 196–200.
- Freguelli G., Tedeschini E., Veronesi F. and Bricchi E. (2002). Airborne pine (*Pinus* spp.) pollen in the atmosphere of Perugia (Central Italy): Behaviour of pollination in the two last decades. *Aerobiologia*, 18: 223–228.
- Galán C. and Domínguez-Vilches E. (1997). The capture media in aerobiological sampling. *Aerobiologia*, 15: 155-160.



- Galán C., Cariñanos P., Alcázar P. and Domínguez-Vilches E. (2007). Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología. Ed. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 61pp.
- Galán C, Alcázar P., Oteros J., García-Mozo H., Aira J.M, Belomte J., Diaz de la Guardia C., Fernández-González D., Gutierrez-Bustillo M. Moreno-Grau S. Pérez-Badia R., Rodríguez-Rajo J., Ruiz-Valenzuela L., Tormo R., Trigo M.M. and Domínguez-Vilches, E. (2016). Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 550:53-59.
- Galán C., García-Mozo H., Vázquez L., Ruis L., de la Guardia C.D. and Trigo M.M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *Int. J. Biometeorol.*, 49:184-188.
- Galán C., Alcázar P. Cariñanos P. García-Mozo H. And Domínguez E. (2000). Meteorological factors affecting daily Urticaceae pollen counts in southwest Spain. *Int. J. Biometerol.*, 43:191-195.
- Galán C., Ariatt A., Bonini M., Clot B., Crouzy B., Dahl A., Fernández-González D., Frenguelli G., Gehrig R., Isard R., Levetin E., Li D.W., Mandrioli P., Rogers C.A., Thibaudon M., Sauliene I., Skjoth C., Smith M. and Sofiev M. (2017). Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, 33:293–295.
- Galán C., Cariñanos P., García-Mozo, H., Alcázar, P. and Domínguez-Vilches E. (2001a). Model for forecasting *Olea europaea* L. airborne pollen in South-West Andalusia, Spain. *Int. J. Biometeorol.*, 45 (2):59-63.
- Galán C., Emberlin E., Domínguez E., Bryant R.H. and Villamandos F. (1995b). A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Cordoba, Spain, and London, UK. *Grana*, 34: 189-198.
- Galán C., Fuillerat M.J., Comtois P. and Domínguez-Vilches E. (1998). Bioclimatic factors affecting daily Cupressaceae flowering in southwest Spain. *Int J. Biometeorol*, 41:95-100.
- Galán C., García-Mozo H., Cariñanos P., Alcázar P. and Domínguez (2001b). The role of temperature in the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in southwestern Spain. *Int. J. Biometeorol.*, 45:8-12.
- Galán C., García-Mozo H., Vázquez L, Ruiz-Valenzuela L., Díaz De La Guardia C. and Trigo-Perez M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *Int. J. Biometeorolol.*, 49(3):184-188.
- Galán C., García-Mozo H., Vázquez L., Ruiz L., Díaz de la Guardia C. and Domínguez-Vilches E. (2008). Modeling Olive Crop Yield in Andalusia, Spain. *Agronomy Journal*, 100:98-104.
- Galán C., Infante F., Ruiz de Clavijo E. and Domínguez E. (1988). Variación estacional y diaria de *Olea europaea* L. en la atmósfera de Córdoba en relación con los parámetros meteorológicos. *An. Asoc. Palinol. Esp.*, 4:46–53.
- Galán C., Infante F., Ruiz de Clavijo E., Guerra F., Miguel R., and Domínguez E. (1989). Allergy to pollen grains from Amaranthaceae and Chenopodiaceae in Cordoba, Spain. Annual and daily variation of pollen concentration. *Ann. Allergy*, 63:435-438.
- Galán C., Tormo R., Cueva, J., Infante F. and Domínguez E. (1991). Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the south-west of Spain. *Grana* 30, 201–209.

- Galán I., Tobias A., Banegas J.R. and Aranguéz E. (2003). Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *European Respiratory Journal*, 22(5):802–808.
- Galán C., Vázquez L., García-Mozo H. and Domínguez E. (2004). Forecasting olive (*Olea europaea*) crop yield based on pollen emission. *Field Crop Res.*, 86:43-51.
- Gallego M. C., García J. A. and Vaquero J. M. (2005). The NAO signal in daily rainfall series over the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 29:103-109.
- Gallotta A., Palasciano M., Mazzeo A. and Ferrara G. (2014). Pollen production and flower anomalies in apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars. *Sci. Hort.*, 172: 199-205.
- García de León D., García-Mozo H., Galán C., Alcázar P., Mauricio L., Jose L. and González-Andujar. (2015). Disentangling the effects of feedback structure and climate on Poaceae annual airborne pollen fluctuations and the possible consequences of climate change. *Science of the Total Environment*, 530-531:103-109.
- García Ortega P., Martínez J., Martínez A., Palacios R., Belmonte J. and Richart C. (1992). *Mercurialis annua* pollen: a new source of allergenic sensitization and respiratory disease. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 89:987-993.
- García González J.J. (1994). Calendario polínico de la ciudad de Málaga. Prevalencia de tests cutáneos. Universidad de Málaga. Tesis doctoral.
- García-González J.J., Bartoloé B., Trigo M.M., Barceló J.M., Fernández S., Negro M.A., Carmona M.J., Vega J.M., Muñoz C., Palacios R., Cabezudo B. and Martínez J. (1999). Pollinosis to *Ricinus communis* (castor bean): an aerobiological, clinical and immunochemical study. *Clin. Exp. Allergy.*, 29: 1265-1275.
- García-González J.J., Bartolomé B., Trigo M.M., Cabezudo B., Muñoz C., Barceló J.M., Fernández S. and Guerra J.A. (1996a). *Ricinus* pollen sensitization. *Allergy (Suppl.)* 31: 51-119.
- García-González J.J., Trigo M.M., Bartolomé B., Cabezudo B., Fernández S., Recio M., Negro M.A., Toro F.J. and Muñoz C. (1996b). Pollinosis due to *Ricinus communis*. 95-96 pp. In: Aira M.J., Jato V., Iglesias I. and Galán C. (eds). Compostela Aerobiology. 1st European Symposium on Aerobiology, 11-13 Septiembre, Santiago de Compostela. España.
- García-González J.J., Trigo M.M., Cabezudo B., Recio M., Vega J.M., Barber D., Carmona M.J., Cervera J.A., Toro F.J. and Miranda A. (1997). Pollinosis due to Australian pine (*Casuarina*): an aerobiologic and clinical study in southern Spain. *Allergy*, 52: 11-17.
- García-González J.J., Vega-Chicote J.M., Rico P., Moscoso del Prado J., Carmona M.J., Miranda A., Perez-Estrada M., Marin, S., Cervera J.A. and Acebes J.M. (1998). Prevalence of Atopy in students from Malaga, Spain. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 80(3):237-244.
- García-Mozo H. (2011). The use of aerobiological data on agronomic studies. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 18:1-6.
- García-Mozo H., Aira C.M.J., Belmonte J. Bermejo C., Diaz de la Guardia B. Elvira M., Gutierrez J., Rodríguez-Rajo L., Trigo M.M., Tormo, R., Valencia R. and Galán C. (2008). Regional phenological models for forecasting the start and peak of the *Quercus* pollen season in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 372-380.

- García-Mozo H., Antonio J.O and Galán C. (2016). Impact of land cover changes and climate on the main airborne pollen types in Southern Spain. *Science of The Total Environment*, 548-549:221-228.
- García-Mozo H., Domínguez-Vilches E. and Galán C. (2007). Airborne allergenic pollen in natural areas: Hornachuelos Natural Park, Córdoba, Southern Spain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14:63-69.
- García-Mozo H., Galán C., Aira M.J., Belmonte J., Díaz de la Guardia C., Fernández D., Gutiérrez A.M, Rodríguez F.J., Trigo M.M. and Domínguez-Vilches E. (2002). Modelling start of oak pollen season in different climatic zones in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*. 110(4), 247-257.
- García-Mozo H., Galán C., Alcázar P., Diaz de la Guardia C., Nieto-Lugilde D., Recio M., Hidalgo P.J., González-Mineiro F., Ruiz L. and Domínguez Vilches E. (2010a). Trends in grass pollen season in southern Spain. *Aerobiologia*, 26:157–169.
- García-Mozo H., Galán C., Belmonte J., Bermejo D., Candau P., Diaz de la Guardia C., Elvira B., Gutierrez M., Jato V., Silva I., Trigo M.M., Valencia R. and Chuine I. (2009). Predicting the start and peak dates of the Poaceae pollen season in Spain using process-based models. *Agriculture and Forest Meteorology*, 149 (2):256-262.
- García-Mozo H., Galán C., Cariñanos P., Alcázar P., Méndez J., Vendrell M., Alba F., Sáenz C., Fernández D., Cabezudo B. and Domínguez E. (1999). Variations in the *Quercus* sp. pollen season at selected sites in Spain. *Polen*, 10:59–69.
- García-Mozo H., Galán C., Jato V., Belmonte J., Díaz de la Guardia C., Fernández D., Gutiérrez M., Aira M. J, Roure J. M., Ruiz L., Trigo M. M. and Domínguez -Vilches E. (2006). *Quercus* pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: Response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 13: 209–224.
- García-Mozo H., Mestre A. and Galán C. (2010b). Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural Forest Meteorology*, 150: 575–580
- García-Mozo H., Mestre A. and Galán C. (2011). Climate Change in Spain: Phenological Trends in Southern Areas, Climate Change - Socioeconomic Effects, Dr Houshan Kheradmand (Ed.), ISBN: 978-953-307-411-5, In Tech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/climate-change-socioeconomic-effects/climatechange-in-spain-phenological-trends-in-southern-areas>
- García-Mozo H., Oteros J. A. and Galán C. (2016). Impact of land cover changes and climate on the main airborne pollen types in Southern Spain. *Sci. Total Environ.*, 548-549: 221–228.
- García-Mozo H., Pérez R. and Galán C. (2008). Aerobiological and meteorological factor's influence on olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha (Central Spain). *Aerobiologia*, 24: 13–18.
- García-Mozo H., Pérez-Badia R., Fernández-González F. and Galán C. (2006.) Airborne pollen sampling in Toledo, Central Spain. *Aerobiologia*, 22: 55-66.
- García-Mozo H., Yaezel L., Oteros J. and Galán C. (2014). Statistical approach to the analysis of olive long-term pollen season trends in southern Spain. *Science of the Total Environment*, 473-474:103-109.



- García Ortega P. and Belmonte J. (2002). Mercurial. En: Valero A.L. and Cadahia A. Polinosis. Polen y alergias. MRA Ediciones. Barcelona.
- García Rollán M. (1985). Claves de la Flora de España. Ediciones Mundiprensa.
- García-Sánchez J. and Cabezudo B. (2014). El herbario MGC de la Universidad de Málaga. Boletín de la Asociación de Herbarios Ibero-Macaronésicos (AHIM), 16: 20-26.
- García-Sellés J. and Munuera M. (1996). Pólenes. In: J.M. Negro (ed), *Rinitis alérgica. Mecanismos y tratamiento*. EDIKA Med, Barcelona, pp. 148-166.
- Gastaminza G., Bartolomé B., Bernedo O., Uriel M., Audicana M.T., Echenagusia M.A., Fernandez E. and Munoz, D. (2005). Alergia al polen de las oleaceas en un lugar donde no hay olivos. *Alergol. Inmu. Clin.*, 20:131-138.
- Gassmann M.I., Pérez C.F. and Gardiol J.M. (2002). Sea-land breeze in a costal city and its effect on pollen transport. *Int. J. Biometerol.*, 46:118-125.
- Gehrig R. (2006). The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland. *Aerobiologia*, 22:27–34.
- Gehrig R. and Peeters A. (2000). Pollen distribution at elevations above 1000 m in Switzerland. *Aerobiologia*, 16: 69-74.
- Geller-Bernstein C., Waisel Y. and Lahoz C.. (2000). Environmental and sensitization to Cypress in Israel. *Allergie et Immunologie*, 3: 92-93.
- Gharbi D., Brighetti M.A., Travaglini A. and Trigo M.M. (2017). Comparaison between the counting methods used by two aerobiology networks in southern Europe (Spain and Italy). *Aerobiologia*, 33: 87-92.
- Gharbi D., Trigo M.M., Docampo S. and Recio M. (2015). The influence of the sampler position on airborne Casuarina pollen counts in Malaga (S. Spain). p52. Mediterranean Palynology Symposium, 8-10 September 2015, Rome, Italy.
- Giorato M., Lorenzoni F., Bordin A., De Biasi G., Gemignani C., Schiappoli M. and Marcer G. (2000). Airborne allergenic pollens in Padua: 1991–1996. *Aerobiologia* 16: 453–454.
- Gioulekas D., Balafoutis C., Damialis A., Papakosta D., Gioulekas G. and Patakas D. (2004). Fifteen-year records of airborne allergenic pollen and meteorological parameters in Thessaloniki, Greece. *International Journal of Biometeorology*, 48:128–136.
- Gioulekas D., Papakosta D., Damialis A., Spieksma F., Giouleka P. and Patakas D. (2004). Allergenic pollen records (15 years) and sensitization in patients with respiratory allergy in Thessaloniki, Greece. *European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 59:174-184.
- Gómez-Casero M.T., Galán C. and Domínguez-Vilches E. (2007). Flowering phenology of Mediterranean *Quercus* species in different locations (Córdoba, SW Iberian Peninsula). *Acta Botánica Malacitana*, 32:127-146.
- González E.M., Villalba M. and Rodríguez R. (2000). Allergenic cross-reactivity of olive pollen. *Allergy*, 55(7):658-663.
- González G.L. (2001). Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 896p.

- González I., Devesa J.A., Ramos S. and Rodríguez P. (1998). Pólenes alergenicos y polinosis en Bádajoz. *Alergol. Inmunol. Clin.*, 13(42):63-69.
- González Minero F. J., Herrero B. and Candau P. (1993). Latitudinal study of allergenic pollen in two Spanish cities. *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.* 3(6): 304-310.
- González-Minero F.J. and Candau P. (1996). Prediction of the beginning of the olive full pollen season in south-west Spain. *Aerobiologia*, 12:91-96
- González-Minero F.J., Candau P., Morales J. and Tomas C. (1998). Forecasting olive production based on ten consecutive years of monitoring airborne pollen in Andalusia (southern Spain). *Agric. Ecosyst. Environ.*, 69:201-215.
- González-Minero F.J., Candau P., Pérez A.M and Carrasco M. (2002). Aerobiología en Andalucía: Estación de Huelva (2000-2001). *REA*, 7:71-76.
- González-Minero F.J., Candau P., Tomas C. and Morales J. (1997). Variación anual y estacional del polen de Urticaceae en el aire de Sevilla y su relación con los factores meteorológicos. *Pollen*, 8:69-77.
- González-Minero F.J., Candau P., Tomas C. and Morales J. (1998). Airborne grass (Poaceae) pollen in southern Spain. Results of 10-year study (1987-1996). *Allergy*, 53:266-274.
- González Parrado Z., Valencia Barrera R.M., Fuertes Rodríguez C.R., Vega Maray A.M., Pérez Romero R., Fraile R. and Fernández González D. (2009). Alternative statistical methods for interpreting airborne Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertner) pollen concentrations. *International Journal of Biometeorology*, 53.1-9.
- González-Parrado Z., Valencia-Barrera R., Vega-Maray A.M, Fuertes-Rodríguez C.R. and Fernández-González, D. (2014). The weak effects of climatic change on *Plantago* pollen concentration: 17 years of monitoring in Northwestern Spain. *International Journal of Biometeorology*, 58(7):1641-1650.
- González Romano M.L., Candau P. and González Minero F.J. Estudio aeropalinológico de Sevilla (1988-1990). (1993). *Ann. Asoc. Palinol. Leng. Esp.* 6:39-50.
- Govaerts R.M., Sobral P., Ashton F., Barrie B.K., Holst L. Landrum K., Matsumoto F.F., Mazine E.N., Lughadha C., Proenca L. H., Soares-Silva P., Wilson G., and Lucas E. (2011). *World checklist of Myrtaceae*. Kew: The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, online at <http://www.kew.org/wcsp/>.
- Gravesen S. (1979). Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy*, 31: 135-151.
- Green B.J., Dettmann M.E., Yli-Panula E., Rutherford S. and Simpson R. (2004). Aeropalynology of Australian native arboreal species in Brisbane, Australia. *Aerobiologia*, 20: 43-52.
- Green B.J., Yli-Panula E., Dettmann M., Rutherford S. and Simpson R. (2003). Airborne *Pinus* pollen in the atmosphere of Brisbane, Australia and relationships with meteorological parameters. *Aerobiologia*, 19(1):47-55.
- Gregory P.H. (1973). The microbiology of the atmosphere. Ed. Leonard Hill. Plymouth. UK.
- Grewling Ł., Jackowiak B. and Smith M. (2014). Variations in *Quercus* sp. pollen seasons (1996-2011) in Poznań, Poland, in relation to meteorological parameters. *Aerobiologia*, 30: 149-159.

- Grilli M., Mazzitelli A., Capucci E. and Travaglini A. (2002). Monitoring pollinosis and airborne pollen in Rome university. *Aerobiologia*, 18:267-275.
- Guillarte M. (2002). Compuestas/Asteráceas. Pp:53-68. In: Valero, A.L. & CADAHÍA, A. Polinosis. Polen y alergia (eds). Mra ediciones. Barcelona. España.
- Gupta M. and Jain A.K. (2012). Incidence of airborne pollen grains in the atmosphere of Gwalior district: a one year study. *Journal of Environmental Research and Development*, 6:631-637.
- Gutiérrez Bustillo M., Cervicon P. and Pertiñez C. (2002). Aerobiología en Madrid: Estación de Ciudad Universitaria (2000-2001). *REA*, 7:225-230.
- Gutiérrez M., Sáenz C., Cervigón P., Alcázar P., Dopazo A., Ruíz L., Trigo M.M., Valencia R. and Vendrell M. (1999). Comparative study of the presence of aeropollen from *Plantago* sp. at several locations in Spain. *Polen*, 10, 111–122.
- Güvensen A. and Öztürk M. (2002). Airborne pollen calendar of Buca-Izmir, Turkey. *Aerobiologia*, 18, 229–237.
- Hadj Hamda S., Ben Dhiab A., Gálan C. and Msallem M. (2017). Pollen spectrum in Northern Tunis, Tunisia. *Aerobiologia*, 33:243-251.
- Hakamada M., Hozawa J. and Saito H. (1979). Studies on pollinosis at the clinic of nasal allergy in Hirosaki University Hospital. *Hirosaki Med. J.* 31: 511–522.
- Halse RR. (1984). Nomenclature of allergenic plants. *Ann. Allergy*, 53: 291–310
- Hanigan L.C. and Johnston F.H (2007). Respiratory hospital admissions were associated with ambient airborne pollen in Darwin, Australia, 2004-2005. *Clin. Exp. Allergy*, 37(10):1556-1565.
- Harris R.M. and German D.F. (1985). The incidence of pine pollen reactivity in an allergic atopic population. *Ann. Allergy*, 55:678-679.
- Hasnain M.S., Fatima K., Al-Frayh A., and Al-Sedairy S.T. (2005). One-year pollen and spore calendars of Saudi Arabia: Al-Khobar, Abha and Hofuf. *Aerobiologia*, 21:241-247.
- Hasnain S.M., Al-Qassim A., Hasnain S. and Al-Frayh A.S. (2016). Emerging status of asthma, allergic rhinitis and eczema in the Middle East. *Journal of Disease and Global Health*, 7:128-136.
- Hauser M., Asam C., Himly M., Palazzo P., Voltolini S., Montanari C., Briza P., Bernardi M.L., Mari A., Ferreira F. and Wallner M. (2011). Bet v 1-like pollen allergens of multiple Fagales species can sensitize atopic individuals. *Clin. Exp. Allergy*, 41: 1804– 1814.
- Hedhly A., Hormaza J.I. and Herrero M. (2009) Global warming and sexual plant reproduction. *Trends Plant. Sci.*, 14:30-36.
- Heide OM. (1993). Daylength and thermal time responses of budburst during dormancy release in some northern deciduous trees. *Physiologia Plantarum* 88: 531–540.
- Helbling A., Gayer F., Pichler W. and Brander K. (1998). Mushroom (Basidiomycete) allergy: diagnosis established by skin test and nasal challenge. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 102 (5):853-858.
- Hensen I. (1999). Life strategies of semi-desert plants: mechanisms of dispersal and reproduction in the thermediterranean shrubland community *Anabasio-Euzomodendretum bourgaeani*. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 57: 63–79.

- Hermanides H.K., Laheÿ-de Boer A.M., Zuidmeer L., Guikers C. van Ree R. and Knulst A.C. (2006). *Brassica oleracea* pollen, a new source of occupational allergens. *Allergy*, 61(4):498-502.
- Hernández De Rojas M.D., Basoma A. and Subiza E. (1991). Allergenic pollen and pollinosis in Spain. Pp: 189-196. In: D'Amato, G., Spiekma, F.T.M & Bonini, S. (eds). Allergenic pollen and pollinosis in Europe. Ed. Blackwell Scientific Publications. Cambridge, England.
- Hernández Prieto M., Lorente Toledano F., Romo Cortina A., Davila González I., Yges E. and 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.
- Hernández-Ceballos M. A., Garcia-Mozo H., Adame J. A., Dominguez-Vilches E., Bolivar J. P., De la Morena B. A., Perez-Badia R. and Galán C. (2011a). Determination of potential sources of *Quercus* airborne pollen in Córdoba city (southern Spain) using back-trajectory analysis, *Aerobiologia*, 27: 261– 276.
- Hernández-Ceballos M.A., García-Mozo H., Adame J.A., Domínguez E., De la Morena B.A., Bolívar J.P. and Galán C. (2011b). Synoptic and meteorological characterisation of olive pollen transport in Córdoba province (south-western Spain). *International Journal of Biometeorology*, 55: 17–34.
- Hernández-Ceballos M.A., García-Mozo H. and Galán C. (2015). Cluster analysis of intradiurnal holm oak pollen cycles at peri-urban and rural sampling sites in southwestern Spain. *Int. J. Biometeorol.*, 59: 517-531.
- Herrero A.D., Ruiz S.S., Bustillo M.G. and Cervigón Morales P. (2006). Study of airborne fungal spores in Madrid, Spain. *Aerobiologia*, 22:135-142.
- Hervés M., Dopazo A. and Aira M.J. (2002). Aerobiología en Galicia: Estación de A Coruña (2000-2001). *REA*, 7:183-188.
- Heslop-Harrison J. and Heslop-Harrison Y. (1991) Structural and functional variation in pollen intine. In: Blackmore S., Barnes S. H. (eds.) Pollen and spores. Patterns of diversification. Clarendon Press, Oxford, pp. 331-343.
- Hesse M., Halbritter H., Zetter R., Weber M., Buchner R., Frosch-Radivo R. and Ulrich S. (2009). Pollen terminology. An illustrated handbook. 264pp.
- Hidalgo-Gálvez M.D., Garcia-Mozo H., Oteros J. Mestre A., Botey R. and Galán C. (2018). Phenological behavior of early spring flowering trees in Spain in response to recent climate changes. *Theoretical and Applied Climatology*, 132:263-273.
- Hirschwehr R., Jager S., Horak F., Ferreira F., Valenta R., Ebner C., Kraft D. and Scheiner O. (1993). Allergens from birch pollen and pollen of the European chestnut share common epitopes. *Clin. Exp. Allergy*, 23: 755 – 761.
- Hirst J.M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Ann. Appl. Biol.*, 39 (2): 257-265.
- Hjelmroos M. (1991). Evidence of long-distance transport of *betula* pollen. *Grana*, 30:215-228.
- Hjelmroos M., Schumacher M.J. and Van Hage-Hamsten M. (1995). Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees. *Int. Arch. Allergy Immunol.*, 108: 368–76.



- Hoffmann-Sommergruber K., Demoly P., Cramer R., Breiteneder H., Ebner C., Da Camara Machado M.L., Blaser K., Ismail C., Scheiner O., Bousquet J. and Menz G. (1999). IgE reactivity to Api g 1, a major celery allergen, in a Central European population is based on primary sensitization by Bet v 1. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 104 (2): 478-484.
- Hurtado I. and Alson J. (1990). Air pollen dispersal in a tropical area. *Aerobiologia*. 6:122-7.
- Huynen M., Menne B., Behrendt H., Bertollini R., Bonini S., Brandao R., Clot B., D'Ambrosio C., DeNuntiis P., Ebi K., Emberlin J., Orbanne E., Galán C., Jäger S., Kovats S., Mandrioli P., Martens P., Menzel A., Nyenzi B., Rantio-Lehtimäki A., Ring J., Rybnicek O., Traidl-Hoffmann C., Van Vliet A., Voigt T., Weiland S., Wickman M. Phenology and Human Health: Allergic Disorders. Report of a WHO meeting, Rome, Italy (2003).
- Ickovic M. and Thibaudon M. (1991). Allergenic significance of Fagaceae pollen. In: G. D'Amato, F. Spiekma, & S. Bonini (Eds.), *Allergenic pollen and pollinosis in Europe*. Oxford.
- Igarashi Y. (1987). Pollen incidence and wind transport in central Hokkaido. (II). *Research Bulletins of the College Experiment Forests Hokkaido University*, 44: 477-506.
- Iglesias I., Jato V., Aira M. J., Sbai L., Valencia R., Recio M., Sabariego S., Cervigon P. and Cariñanos P. (1999). Annual variations of Castanea airborne pollen at 13 Spanish sites. *Polen*, 10:49-56.
- Iglesias I., Mendez J. and Seijo C. (1998). Aerobiología en Galicia: Estación de Ourense (1997). *REA*, 4:111-114.
- Iglesias I., Rodríguez-Rajo F. J. and Méndez J. (2007). Behavior of *Platanus hispanica* pollen, an important spring aeroallergen in Northwestern Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 17(3): 145-156.
- Iglesias-Otero M.A., Fernández-González M., Rodríguez-Caride D., Astray G., Mejuto J.C. and Rodríguez-Rajo F.J. (2015). A model to forecast the risk periods of *Plantago* pollen allergy by using the ANN methodology. *Aerobiologia*, 31:201-211.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds). IPCC: Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Isard S., Thurman J. and Achtemeier G. (2000). En: Mandrioli, P., Isard, S. & Main, C. (eds.). Field measurements in Aerobiology. Institute of Atmospheric and Oceanic Sciences, ISAO-CNR.pp 10-12.
- Izco J., Barreno E., Bruges M., Costa M., Devesa J., Fernández T., Gallardo X.L, Salvo E., Talavera S. and Valdés B. (1997). *Botánica*, McGraw-Hill Interamericana, Madrid.
- Izco J., Ladero M. and Sáenz de Rivas C. (1972). Flora alergógena de España. Distribución, descripción e interés médico-alergológico de las especies responsables de síndromes alérgicos. *Anales Real Academia Farmacia*, 38(3): 521-570.
- Jäger S. and Horak F. (1988). V.C.C-Vienna Challenge Chamber pollen distribution. *Allergy*, 43: 56.
- Jäger S. and Litschaner R. (1999). Aerobiological survey on Castanea pollen in Austria. Proc. Int. Symp. on *Castanea sativa*: Allergies and Plant Diseases. Suiza.



- Jäger S., Nilsson S., Berggren B., Pessi A.M., Helander M. and Ramfjord H. (1996). Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980–1993. A comparison between Stockholm, Trondheim, Turku and Vienna. *Grana*, 35: 171–178.
- Jato V., Aira M. J., Dopazo A., Iglesias M. I., Méndez J. and Rodríguez-Rajo F. J. (2001a). Aerobiology of *Castanea* pollen in Galicia. *Aerobiologia*, 17: 233–240.
- Jato V., Dopazo A. and Aira M.J. (2001b). Airborne pollen data of Platanaceae in Santiago de Compostela (Iberian Peninsula). *Aerobiologia*, 17(2):143-149.
- Jato V., Rodríguez-Rajo F. J., Seijo M.C. and Aira M.J. (2009). Poaceae pollen in Galicia (NW Spain): Characterisation and recent trends in atmospheric pollen season. *International Journal of Biometeorology*, 53(4): 333–344.
- Jato V., Rodríguez-Rajo F.J. and Aira M.J. (2007). Use of *Quercus ilex subsp. Ballota* phenological and pollen production data for interpreting *Quercus* pollen curves. *Aerobiologia*, 22:91–105.
- Jato V., Rodríguez-Rajo F.J. and Seijo M.C. (2000). *Pinus* pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors. *Int. J. Biometeorol.*, 43:147-153.
- Jato V., Rodríguez-Rajo F.J., Alcázar P., De Nuntiis P., Galán C. and Mandrioli P. (2006). May the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerbiologia*, 22(1):13-25.
- Jato V., Rodríguez-Rajo F.J., Mendez J. and Aira M.J. (2002). Phenological behavior of *Quercus* in Ourense (NW Spain) and its relationship with the atmospheric pollen season. *Int. J. Biometeorol.*, 46:176-184.
- Jato V., Rodríguez-Rajo F.J., Fernández-González M. and Aira M.J. (2015). Assessment of *Quercus* flowering trends in NW Spain. *Int. J. Biometeorol.* 59:514-531.
- Jimeno L., Duffort O., Serrano C., Barber D. and Polo F. (2004). Monoclonal antibody-based Elisa to quantify the major allergen of *Artemisia vulgaris* pollen, Art v 1. *Allergy*, 59(9):995-1001.
- Johansen S. and Hafsten U. (1988). Airborne pollen and spore registrations at Ny-Alesund Svalbard Norway summer 1986. *Polar Research*, 6: 11–18.
- Johnsen C.R., Rasmussen A. and Weeke E.R. (1991). Allergenic pollen and pollinosis in Denmark, pp: 151-158. In: D'Amato, G., Spieksma, F.T.H.M. and Bonini, S. (eds). Allergenic pollen and pollinosis in Europe. Blackweell Scientific Publications, Oxford, England.
- Jordano P. (1988) Polinización y variabilidad de la producción de semillas en *Pistacia lentiscus* L. (Anacardiaceae). *Anales Jardín Botánico Madrid*, 45:213-231.
- Junta de Andalucía (2005). Mapa del uso y cobertura del suelo en el entorno de la estación de muestreo. Consejería de Medio Ambiente (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>). Escala 1:500.000, publicado en el tomo II del Atlas de Andalucía (Cartografía Temática Ambiental). Fecha de captura 02/03/2017.
- Käpylä M. and Koivikko A. (1975). Gravity slide studies on atmospheric pollen in Finland. *Annales Botanici Fennici*, 12: 74–80.
- Kasprzyk I. (1999). Comparative analysis of pollen fall at three sites in south-eastern Poland. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, 6:73–79.
- Kasprzyk I. (2009). Forecasting the start of *Quercus* pollen season using several methods—the evaluation of their efficiency. *Int. J. Biometeorol.*, 53:345–353.



- Kasprzyk I. and Walanus A. (2010). Description of the main Poaceae pollen season using bi-Gaussian curves and forecasting methods for the start and peak dates for this type of season in Rzeszów and Ostrowiec Św. (SE Poland). *J. Environ. Monit.*, 12: 906-916.
- Kasprzyk I. and Worek M. (2006). Airborne fungal spores in urban and rural environments in Poland. *Aerobiologia*, 22:169–176.
- Kasprzyk I., Harmata K., Myszkowska D., Stach A. and Stepalska D. (2001). Diurnal variation of chosen airborne pollen at five sites in Poland. *Aerobiologia*, 17: 327–345.
- Katellaris C., Baldo B.A., Howden M.E.H., Matthews P.A. and Walls R.S. (1981). Investigation of the role of Paterson's curse and other weeds in seasonal allergy in rural N.S.W. *Proc. Sydney Allergen Group*, 1:13-24.
- Katial R.K., Lin F.L., Stafford W.W., Ledoux R.A., Westly C.R. and Weber R.W. (1997). Mugwort and sage (*Artemisia*) pollen cross-reactivity: Elisa inhibition and immunoblot evaluation. *Ann.Allergy Asthma Immunol.*, 79(4):630-346.
- Kazlauskas M., Sauliene I. and Lankauskas A. (2006). Airborne *Artemisia* pollen in Siauliai (Lithuania) atmosphere with reference to meteorological factors during 2003–2005. *Acta Biologica Universitatis*, 6: 1–2.
- Kendall MG. (1975). Rank Correlation Measures. Charles Griffin: London.
- Keynan N., Geller-Bernstein C., Waisel Y., Bejerano A., Shomer-Ilan A. and Tamir R. (1987). Positive skin tests to pollen extracts of four species of *Pistacia* in Israel. *Clin. Allergy*, 17: 243-9.
- Keynan N., Tamir R., Waisel Y., Reshef A., Spitz E., Shomer-Ilan A. and Gellerbernstein, C. (1997). Allergenicity of the pollen of *Pistacia*. *Allergy*, 52: 323-330.
- Koivikko A., Kupias R., Makinen Y. and Pohjola A. (1986). Pollen Seasons: Forecasts of the most important allergenic plants in Finland. *Allergy*, 41: 233-242.
- Kos T., Hoffmann-Sommergruber K., Ferreira F., Hirschwehr R., Ahorn H., Horak F., Jager S., Sperr W., Fraft D. and Schneiner O. (1993). Purification, characterization and N-terminal amino acid sequence of a new major allergen from European chestnut pollen Cas s 1. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 196:1086-1092.
- Kovacik L., Plitzko J. M., Grote M., and Reichelt R. (2009). Electron tomography of structures in the wall of hazel pollen grains. *J. Struct. Biol.*, 166, 263–271.
- Krilis S., Baldo B.A and Basten A. (1985). Analysis of allergen-specific IgE responses in 341 allergic patients. Associations between allergens and between allergen groups and clinical diagnoses. *Internal Medicine Journal*, 15(4):421-426.
- Kupias R., Helander M.L. Saar M. and Makinen Y. (1989). Comparison of some pollen concentrations in Finland and the Estonian SSR. *Aerobiologia*, 5:94-103.
- Laaidi K., Laaidi M. and Besancenot J.-P. (1997). Pollens, pollinoses et météorologie. *La Météorologie*, 8 (20): 41-56.
- Laaidi M. (2001). Forecasting the start of the pollen season of Poaceae: evaluation of some methods based on meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 45(1):1-7.

- Laaidi M., Thibaudon M. and Besancenot J.P. (2003). Two statistical approaches to forecasting the start and duration of the pollen season of *Ambrosia* in the area of Lyon (France). *Int. J. Biometeorol.*, 48(2):65–73.
- Ladeira S., Nunes C., Ferro R., Martins M., Caeiro E., Antunes C., Brandao R. and Caldeira A (2011). Grass and Olea airborne pollen allergens in outdoor air samples and its correlation with pollen counts. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 127(2), AB172.
- Lake I. R., Jones R.N., Agnew M., Goodess M.C., Giorgi F., Hamaoui-Laguel L., Semenov S., Storkey J., Vautard R. and Epstein M.M. (2016). Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environ. Health Perspect.*, 125: 385–391.
- Lauzarica P., Gurbindo C., Maruri N., Galocha B., Diaz R., González J., Garcia R. and Lahoz C. (1988). Olive (*Olea europaea*) pollen allergens-I immunochemical Characterization by immunoblotting, crie and immunodetection by a monoclonal antidoby. *Molecular Immunology*, 25(4):329-335.
- Layton L.L., Yamaka E., Lee S. and Greene T.W. (1962). Multiple allergies to the pollen and seed antigens of *Ricinus communis* (castor bean). *J. Allergy*, 33:23-2 5.
- Lejoly-Gabriel M. and Leuschner R.M. (1983). Comparison of airborne pollen at Louvain-la-Neuve (Belgium) and Basel (Switzerland) during 1979 and 1980. *Grana*, 22:59-64.
- Lelong M., Thelliez P., Castalle M., et al. (1980). L'allergie aux pollens d'ortie et de mercurialis existe-t-elle?. *Rev Franç Allergol*. 20:149-151.
- León-Ruiz E., Alcázar P., Domínguez Vilches E. and Galán C. (2011). Study of Poaceae phenology in a Mediterranean climate. Which species contribute most to airborne pollen counts? *Aerobiologia*, 27:37–50.
- Leuschner R.M. and Boehm G. (1981). Pollen and inorganic particles in the air of climatically very different places in Switzerland. *Grana*, 20:161-167.
- Levetin E. (2001). Effects of climate change on airborne pollen. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 107(2): S172.
- Levetin E. and Buck P. (1980). Hay fever plants in Oklahoma. *Ann. Allergy*, 45 (1): 26:32.
- Lewis W.H. and Vinay P. (1979). North American pollinosis due to insect-pollinated plants. *Annals of Allergy*, 42: 309-318.
- Lewis W.H., Vinay P. and Zenger V.E. (1983). Airborne and allergenic pollen of North America. Johns Hopkins University Press. London, Inglaterra.
- Li W.Y. and Yao Z.J. (1990). A study on the quantitative relationship between pinus pollen in surface sample and pinus vegetation. *Acta Botanica Sinica*, 32: 943–950.
- Liccardi G., Russo M., Saggese M., Lobefalo G., Noschese P., Piccolo A. Visone A., D'Amato M., D'Amato G. (1994). Clinical significance of allergic sensitization to *Olea europaea* L. pollen in the Naples area of Italy. *Aerobiologia*, 10:59–64.
- Lind T., Ekeboom A., Alm K.K., Ostensson P., Bellander T. and Lohmus M. (2016). Pollen season trends (1973-2013) in Stockholm área, Sweden. *Plos One*, 11(11), eo166887.
- Linskens H.F. and Cresti M. (2000). Pollen-allergy as an ecological phenomenon: a review. *Plant Biosystems*, 134 (3): 341-352.

- Lletjos R., Bartroli R., Esteban A. and Riera S. (1993). Forecasting hazelnut (*Corylus avellana* L.) crop production based on monitoring airborne pollen concentration. C.R. Coll. IV Int. Symp. on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, Valencia-Zaragoza, Spain.
- Lombardero M., Obispo T.M, Calabozo B., Lezaun A., Polo F. and Barber D. (2002). Cross-reactivity between olive and other species. Role of Ole e1-related proteins. *Allergy*, 57:29-34.
- López-Bustins J.A., Martín-Vide J. and Sánchez-Lorenzo A. (2008). Iberian winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Glob. Planet. Change*, 63:171–176.
- Lorenzo C., Marco M., Paola D.M., Alfonso C., Marzia O. and Simone O. (2006). Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Ann. Allergy, Asthma Immunol.*, 96: 86–91.
- Lorenzoni-Chiesura F., Giorato M. and Marcer G. (2000). Allergy to pollen of urban cultivated plants. *Aerobiologia*, 16:313-316.
- Mabberley D.J. (1987). *The Plant Book: A Portable Dictionary of the Higher Plants*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MacQuiddy E.L. (1955). Northern prairies and plains (Iowa, Nebraska, and the Dakotas). In: *Regional allergy of the United States, Canada, Mexico & Cuba*, ed. Samter M. and Durham O.C. Thomas, Springfield (1955), pp. 183-195.
- Majas F.D., Noetinger M. and Romero E.X. (1992). Airborne pollen and spores monitoring in Buenos Aires city: a preliminary report. I. Trees and shrubs. *Aerobiologia*, 8:285-96.
- Makra L., Juhász M. Béczi R. and Borsos E. (2005). The history and impacts of airborne *Ambrosia* (Asteraceae) pollen in Hungary. *Grana*, 44:57-64
- Makra L., Matyasovszky I. and Deák A.J. (2011). Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in central Europe based on the example of Szeged, Hungary. *Atmos. Environ.*, 45:6010–6018.
- Makra L., Matyasovszky I., Thibaudon M. and Bonini M. (2011). Forecasting ragweed pollen characteristics with nonparametric regression methods over the most polluted areas in Europe. *Int. J. Biometeorol.*, 55:361-371.
- Makris M., Koulouris S., Koti I., Aggelides X., Sideri K., Chliva C., Vassilatou E. and Kalogeromitros D. (2010). Temporal relationship of allergic rhinitis with asthma and other co-morbidities in a Mediterranean country: A retrospective study in a tertiary reference allergy clinic. *Allergologia et Immunopathologia*, 38(5): 246–253.
- Maloney E.S. and Brodkey M.H. (1940). Hemp pollen sensitivity in Omaha Nebraska. *Medical Journal*, 25: 190-191.
- Mandal J., Chakraborty P., Roy I., Chatterjee S. and Gupta-Bhattacharya S. (2008). Prevalence of allergenic pollen grains in the aerosol of the city of Calcutta, India: a two year study. *Aerobiologia*, 24:151-164.
- Mandrioli P. (1987). Biometeorology and its relation to pollen count. *Adv. Aerobiol.*, 51:37–41.
- Mandrioli P. (1994). Metodica di campionamento e conteggio dei granuli pollinici e delle spore fungine aerodisperse. Monitoraggio aerobiologico in Emilia Romagna. Collana Prevenzione nei luoghi di vita e di lavoro. Contributi (Biblioteca Antonio Panizzi), 30:9-19.

- Mandrioli P., Comtois P., Domínguez -Vilches E., Galán C., Syzdek L. and Isard S. (1998). Sampling: Principles and techniques. In: Mandrioli P., Comtois P., Levizzani V., editors. *Methods in aerobiology*. Bologna: Pitagora Editrice pp. 47–112.
- Mandrioli P., Negrini M.G., Cesari G. and Morgan G. (1984). Evidence of long range transport of biological and anthropogenic aerosol particles in the atmosphere. *Grana*, 23:43-53.
- Mandrioli P., Negrini M.G. and Zanotti A. (1982). Airborne pollen from Yugoslavian coast to the Po Valley (Italy). *Grana*, 21:121-128.
- Mandrioli P., Puppi G.L. and Bagni N. (1973). Distribution of microorganisms in hailstones. *Nature*, 246:416-417.
- Marcos C., Rodríguez-Rajo F.J., Luna I., Jato V. and González R. (2001). *Pinus* pollen aerobiology and clinical sensitization in northwest Spain. *Ann. Allergy Asthma Immunol.*, 87(1):39-42.
- Martin Madrigal E., Gutierrez M., Bravo R., Garcia M.A. and Lubillo H. (2002). Aerobiología en Madrid: Estación de Collado Villalba (2000-2001). *REA*, 7:237-242.
- Martínez A., Asturias J.A. Monteseirin J., Moreno V., Garcia-Cubillana A., Hernandez M., De la Calle A., Sánchez-Hernandez C., Pérez-Formoso J., L. and Conde J. (2002). The allergenic relevance of profiling (Ole e 2) from *Olea europaea* pollen. *Allergy*, 57(71):17-23.
- Martínez-Bracero M, Alcázar P, Díaz de la Guardia C, González-Minero F.J., Ruiz L., Trigo M.M. and Galán C. (2015). Pollen calendars: a guide to common airborne pollen in Andalusia. *Aerobiologia*, 31:549–557.
- Matthews A., Baldo P., Merlin A.B. and Howden E.H. (1988). Cytochrome c allergens isolated from the pollens of the dicotyledons English plantain (*Plantago lanceolata*) and paterson's curse (*Echium plantagineum*). *Molecular Immunology*, 25:63-68.
- Matthiesen F., Ipsen H. and Lowenstein H. (1991), Pollen allergens. In: G. D 'Amato, F. Th. M. Spieksma and S. Bonini (eds), *Allergenic Pollen and Pollinosis in Europe*. Blackwell Sci. Publ.: Oxford, pp. 36–44.
- Mayoral M., Calderon H., Cano R., Lombardero M. (2008) Allergic rhinoconjunctivitis caused by *Cannabis sativa* pollen. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 18:73–74.
- Mazzeo A., Palasciano M., Gallotta A., Camposeo S., Pacifico A. and Ferrara G. (2014). Amount and quality of pollen grains in four olive (*Olea europaea* L.) cultivars as affected by 'on' and 'off' years. *Sci. Hort.*, 170: 89-93.
- Mc Donald M.S. (1980). Maurice Correlation of Air-borne Grass Pollen Levels with Meteorological Data. *Grana*, 19:53-56.
- Meklin T., Hyvärinen A., Toivola M., Reponen T., Koponen V., Husman T., Taskien T., Korppi M. and Nevalainen A. (2003). Effect of building frame and moisture damage on microbiological indoor air quality in school buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 64:108–16.
- Melgar M. (2010). Comparación de dos estaciones aerobiológicas situadas en regiones bioclimáticas diferentes. Málaga (Sur de España) y Münster (noroeste de Alemania). Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, Málaga.

- Melgar M., Trigo M.M., Recio M., Docampo S., García-Sánchez J. and Cabezudo B. (2012). Atmospheric pollen dynamics in Münster, north-western Germany: a three year study (2004-2006). *Aerobiologia*, 28:423-434.
- Melhem T.S. and Makino H. (1978). Pollen precipitation in the city of São Paulo (Brasil). *Hoehnea*, 7: 1-10.
- Méndez J., Rodríguez F.J. and Iglesias I. (2000). Interannual variations of *Pinus* pollen in Ourense and its relationship with meteorological parameters. *Acta Botanica Malacitana*, 25: 131–140.
- Méndez J., Rodríguez-Rajo J. and Iglesias I. (2002a). Aerobiología en Galicia: estación de Ourense (2000-2001). *REA*, 7: 207-212.
- Menzel A. Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská L., Briede A., Chmielewski F., Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatzak K., Mâge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuelas J., Pirinen P., Remišová V., Scheffinger H., Striz M., Susnik A., Van Vliet A.J.H., Wielgolaski F.-E., Zach S. and Züst A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biol.*, 12: 1969-1976.
- Menzel A., Estrella N. and Fabian P (2001) Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951-1996. *Glob. Chang. Biol.*, 7:657-666.
- Mercuri A.M. (2015). Applied palynology as a trans-disciplinary science: The contribution of aerobiology data to forensic and palaeoenvironmental issues. *Aerobiologia*, 31(3): 323–339.
- Mercuri A.M., Torri P., Casini E. and Olmi L. (2013). Climate warming and the decline of *Taxus* airborne pollen in urban pollen rain (Emilia Romagna, northern Italy). *Plant Biol.* 15: 70–82.
- Millares J.C., Caravaca F., Guillén F., Lombardero M. and Negro J.M. (2002). Cross-reactivity between *Platanus* pollen and vegetables. *Allergy*, 57: 146-9.
- Miranda E.E. (2002). Platano de sombra. *Platanus (Platanus hispanica)*. En: Valero, A.L. & A. Cadahia: Polinosis. Polen y Alergias: 149-154. MRA Ediciones, Barcelona.
- Moncada M. and Machado S. (1989). Polen atmosférico en el Jardín Botánico de La Habana. Reporte de investigación del Instituto de Ecología y Sistemática. *Ser. Bot.* 5: 3-12.
- Montserrat-Martí G. and Pérez-Rontomé C. (2002). Fruit growth dynamics and their effects on the phenological pattern of native *Pistacia* populations in NE Spain. *Flora*, 197 (3): 161–74.
- Moral de Gregorio A. (2003). Aerobiología y polinosis por Cupresáceas en España. *Alergol. Inmunol. Clin.*, 18(3):25-44.
- Moral de Gregorio A., Senent Sánchez C., Cabañes Higuero N., García Villamuza Y. and Gómez-Serranillos Reus M. (1998). Allergenic pollen and pollinosis of Toledo in 1995–1996. *Rev. Esp. Alergol. Inmunol. Clin.*, 13:126–134.
- Moreno A., Muñoz A.F., Tormo R. and Silva I. (1998a). Aerobiología en Extremadura: Estación de Merida (1996). *REA*, 3, 65–68.
- Moreno-Ancillo A., Gil-Adrados A.C., Cosmes P.M., Dominguez-Noche C. and Pineda F. (2006) Role of Dau c 1 in three different patterns of carrot-induced asthma. *Allergol Immunopathol.*, 34(3):116–120.

- Moreno-Durán M.D., Ortega J.M. and Rodríguez de los Santos M. (1997). Datos fenológicos de floración de algunas especies leñosas de la Duna del Faro de Trafalgar (Barbate, Cádiz). *Acta Bot. Malacit.*, 22: 43–52.
- Moreno-Grau S., Elevira-Renduelles B., Angosto J.M., Bajo J., Moreno J., Vergara N., Belchi J. and Moreno-Clavel J. (2002). Aerobiología en Murcia: Estación de Cartagena (2000-2001). *REA*, 7:243-248.
- Moreno-Sarmiento M., Peñalba C.M., Belmonte J., Rosas I., Ortega-Nieblas M.M., Villa-Ibarra M., Lares-Villa F. and Pizano-Nazara J.L. (2016). Urban airborne pollen in a semiarid environment. *Aerobiologia*, 32:363-370.
- Mucciarelli M. and Maffei M. (2002). Introduction to the genus. In: Wright C.W., ed. *Artemisia. Medicinal and aromatic plants- industrial profiles*. V. 18. London: Taylor and Francis, 1-50.
- Mullenders W., Dirickx M., Van Der Haegen D., Bastin-Servais D. and Desair coremans, M. (1972). La pluie pollinique a Louvain. *Louvain Med.*, 91:159-176.
- Muñoz A.F., S I., Tormo R. (2000). The relationship between Poaceae pollination levels and cereal yields. *Aerobiologia*, 16:281-286.
- Muñoz A., Tormo R., Silva I., Moreno A. and Tavira J. (2005). Airborne behaviour of *Echium* pollen. *Aerobiologia*, 21: 125-130
- Muñoz F.J., Delgado J., Palma J.L., Gimenez M.J., Monteserin F.J. and Conde J. (1995) Airborne urticarial due to mulberry (*Morus alba*) pollen. *Contact Dermatitis*, 32:61.
- Muñoz Rodríguez A.F., Silva Palacios I., Tormo Molina R., Corchero M.A. and Muñoz J.T. (2000). Dispersal of Amaranthaceae and Chenopodiaceae pollen in the atmosphere of Extremadura (SW Spain). *Grana*, 39:56-62.
- Muñoz Rodríguez F.A., Silva Palacio I. and Tormo Molina R. (2007). Cyperaceae and Juncaceae pollination measured in the air at two sites in SW Spain. *Aerobiologia*, 23:259-270.
- Munuera Giner M., Carrión Garcia J.S. and Garcia Selles J. (1999). Aerobiology of *Artemisia* airborne pollen in Murcia (SE Spain) and its relationship with weather variables: annual and intradiurnal variations for three different species Wind vectors as a tool in determining pollen origin. *Int. J. Biometeorol.*, 43:51–63.
- Munuera M. and García J. (2002). Allergenic pollen in south east Spain. *Allergy*, 57: 59-60.
- Munuera M., Carrion J. and Navarro C. (2002). Seasonal fluctuations of the airborne pollen spectrum in Murcia (SE Spain). Some peculiarities in the pollen calendar. *Aerobiologia*, 18:141-151.
- Murray M.G and Galán C. (2016). Effect of the meteorological parameters on the *Olea europaea* L. pollen season in Bahía Blanca (Argentina). *Aerobiologia*, 32:541-553.
- Murray M.G., Galán C. and Villamil C.B. (2010). Airborne pollen in Bahía Blanca, Argentina: seasonal distribution of pollen types. *Aerobiologia*, 26:195-207.
- Myszkowska D. Predicting tree pollen season start dates using thermal conditions. (2014). *Aerobiologia*, 30:307-321.
- Myszkowska D. (2010). The grass pollen season dynamics in relation to the meteorological conditions in Cracow, southern Poland, 1991–2008. *Acta Agrobotanica*, 63: 85–96.



- Nardi G., Canziani A., Striani P., Santini N., Coccia C., Seghetti L., Kranic R. (1996) Cupressaceae pollen in the atmosphere of Ascoli Piceno (Central Italy) and sensitization of allergic subjects. *Aerobiologia*, 12:269—271.
- Navarro A.M., Orta J.C., Sánchez M.C., Delgado J., Barber D. and Lombardero M. (1997). Primary sensitization to *Morus alba*. *Allergy*, 52(11):1144-1145.
- Navarro T. and Cabezudo B. (1998). Estrategias fenomorfológicas de especies de un matorral mediterráneo (Andalucía, España). *Acta. Bol. Malacitana*, 23: 133-148.
- Negrini A.C., Ariano R., Delbono G., Ebli A., Quaglia A. and Arobba D. Incidence of sensitization to the pollens of Urticaceae (*Parietaria*), Poaceae and Oleaceae (*Olea europaea*) and pollen rain in Liguria (Italy) (1992). *Aerobiologia*, 8:355–358.
- Nieto Caldera J.M., Pérez Latorre A.V. and Cabezudo B. (1991). Biogeografía y series de vegetación de la provincial de Málaga (España). *Acta Botanica Malcitana*, 162(2): 417-436.
- Nieto-Lugilde D. (2008). Estudio aerobiológico de la zona costera de la provincia de Granada (Motril): Evolución de las concentraciones de polen y esporas. Tesis Doctoral. Departamento de Botánica. Universidad de Granada.
- Nilsson S. (1992). Aerobiology: An interdisciplinary and limitless science. Ind J Aerobiol special volume: 23-27.
- Nilsson S. and Persson S. (1981). Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden), 1973-1980. *Grana*,20:179-182.
- Nilsson S., Spiekma F. Th. M. (1992). Traveller's Allergy Service Guide. Swedish Museum of Natural History and Fisons Sweden AB, Sweden.
- Nitiu D.S and Mallo C.A (2002). Incidence of allergenic pollen of *Acer* spp., *Fraxinus* spp. And *Platanus* spp. In the city of la Plata, Argentina: preliminary results. *Aerobiologia*, 18(1):65-71.
- Nitiu S.D. (2004). Intradial fluctuation of pollen in La Plata, Argentina. Part I, herbaceous pollen types. *Aerobiologia*, 20:69-74.
- Njokuocha R.C. Airborne pollen grains in Nsukka, Nigeria. (2006). *Grana*. 45:73-80.
- Norris-Hill J. (1999). The diurnal variation of Poaceae pollen concentrations in a rural area. *Grana*, 38:301-305.
- Norris-Hill J. (1995). The modelling of daily Poaceae pollen concentrations. *Grana*, 34:182-188.
- Norris-Hill J. and Emberlin J. (1993). The incidence of increased pollen concentrations during rainfall in the air of London. *Aerobiologia*, 9(1):27-32.
- Norris-Hill J. and Emberlin, J. (1991). Diurnal variation of pollen concentration in the air of north central London. *Grana*, 30(1):229-234.
- Obispo T.M., Carpizo J.A., Carreira J. and Lombardero M. (1993). The main allergen of *Olea europaea* (Ole E I) is also present in other species of the Oleaceae family. *Clin. Exp. Allergy*,23: 311–316.
- Obrębska-Starkłowa B. (1977). Typology and phenological-climatological regionalization on the example of Upper Vistula river basin. Habilitation Thesis. Drukarnia Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.



- Ocana-Peinado F.M., Valderrama M.J. and Bouzas P.R. (2013). A principal component regression model to forecast airborne concentration of Cupressaceae pollen in the city of Granada (SE Spain), during 1995–2006. *Int. J. Biometeorol.*, 57:483–486.
- Oliveira M., Ribeiro J., Delgado L. and Abreu I. (2009). The effects of meteorological factors on airborne fungal spore concentration in two areas differing in urbanization level. *International Journal of Biometeorology*, 53: 61-73.
- Ong E. K., Taylor, P. E. and Knox R. B. (1997). Forecasting the onset of the grass pollen season in Melbourne (Australia). *Aerobiologia*, 13: 43-48.
- Önöz B. and Bayazit M. (2003). The power of statistical tests for trend detection. *Turk. J. Eng. Environ. Sci.*, 27:247–251.
- Orlandi F., Aguilera F., Galán C., Msallem, M. and Fornaciari, M. (2016). Olive yields forecasts and oil price trends in mediterranean areas: A comprehensive analysis of the last two decades. *Experimental Agriculture*, 53(1): 71–83.
- Orlandi F., García-Mozo H., Ben Dhiab A., Galán C., Msallem M., Romano B., Abichou M. and Domínguez-Vilches E. (2013a). Climatic indices in the interpretation of the phenological phases of the olive in Mediterranean areas during its biological cycle. *Clim. Change*, 116(2):263–84.
- Orlandi F., García-Mozo H., Dhiab A.B., Galán C., Msallem M. and Fornaciari M. (2013b). Olive tree phenology and climate variations in the Mediterranean area over the last two decades. *Theor. Appl. Climatol.*, 1–12:207-218.
- Orlandi F., Sgromo C., Bonofiglio T., Ruga L., Romano B. and Fornaciari, M. (2009). A comparison among olive flowering trends in different Mediterranean areas (south-central Italy) in relation to meteorological variations. *Theoretical and Applied Climatology*, 97: 339–347.
- Orlandi F., Sgromo C., Bonofiglio T., Ruga L., Romano B. and Fornaciari M. (2010a). Yield modelling in a Mediterranean species utilizing cause-effect relationships between temperature forcing and biological processes. *Sci. Hortic.*, 123: 412–417.
- Orlandi F., Garcia-Mozo H., Dhiab A.B., Galán C., Msallem M. and Fornaciari M. (2014). Olive tree phenology and climate variations in the Mediterranean area over the last two decades. *Theor. Appl. Climatol.*, 115:207-218.
- Osvath P. (1991). Allergenic pollen and pollinosis in Hungary. pp 172-175. In: D'amato G., Spieksma F.T.M and Bonini S. (eds). Allergenic pollen and pollinosis in Europe. Ed. Blackwell Scientific Publications. Cambridge. England.
- Oteros J., García-Mozo H., Hervás C., Galán C. (2013). Year clustering analysis for modelling olive flowering phenology. *International Journal of Biometeorology*, 57 (4):545–555.
- Oteros J., Orlandi F., García-Mozo H., Aguilera F., Ben Dhiab A., Bonofiglio T., Abichou M., Ruiz-Valenzuela L., Trigo M.M, Diaz de la Guardia C., Domínguez-Vilches E., Msallen M., Fornaciari M. and Galán C. (2014). Better prediction of Mediterranean olive production using pollen-based models. *Agronomy for Sustainable Development*, 34:685-694.
- Oteros J., García-Mozo H., Alcázar P., Belmonte J., Bermejo, D., Boi M. and Galán C. (2015). A new method for determining the sources of airborne particles. *J. Environ. Manag.*, 155:212-218.
- Paiva J., Leitao M.T. and Rocha-Pereira M.A. (1988). The aeropa-lynological environment of four Portuguese cities. *Boletim Da Sociedade Broteriana*, 61: 65–80.



- Pajaron M.J., Vila L., Prieto I. Resano A., Sanz M.L. and Oehling A.K. (1997). Cross-reactivity of *Olea europaea* with other Oleaceae species in allergic rhinitis and bronchial asthma. *Allergy*, 52:829-835.
- Palosuo T., Panzani R.C., Singh A.B., Ariano R., Alenius H. and Turjanmaa K. (2002). Allergen cross-reactivity between proteins of the latex from *Hevea brasiliensis*, seeds and pollen of *Ricinus communis*, and pollen of *Mercurialis annua*, members of the Euphorbiaceae family. *Allergy*. 23:141-149.
- Pallewatta N., Reaser J. K. and Gutierrez A. T. (2003). Invasive Alien Species in South-Southeast Asia: National Reports & Directory of Resources. Global Invasive Species Programme, Cape Town, South Africa. 73 p.
- Papa G., Romano A. Quaratino D., Di Fonso M., Viola M., Cristina M.A., Sernia S., Gioacchino M.D. and Venuti A. (2001). Prevalence of sensitization to *Cupressus sempervirens*: a 4-year retrospective study. *Science of the Total Environment*, 270:83-87.
- Papageorgiou P.S. (1999). Particularities of pollen allergies in Greece. *Pediatr. Pulmonol. Suppl.*, 18:168–171.
- Pathirane L. (1975). Graphical determination of the main pollen season. *Pollen et spores* 17(4):609.
- Paulino R., Tormo R., Silva I. and Muñoz A. F. (2002). Aerobiología en Extremadura: Estación de Cáceres (2000–2001). *REA*, 7:177–182.
- Paulsen S.B., Flo L., Nesje G. and Wold J.K. (1985). Allergens in pollen from mugwort (*Artemisia vulgaris*). I. Partial characterization of allergen preparations from mugwort pollen with emphasis on the carbohydrate moiety. *Int. Arch. Allergy Appl. Immunol.*, 78:206-212.
- Peñuelas J., Filella I. and Comas P. (2002) Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Glob. Chang. Biol.*, 9:131–140.
- Peralta V. (1998). Estudio de sensibilización a polens y análisis aeropalínológico en la provincial de Jaén durante 1995. *Alergol. Inmunol. Clin.*, 13(2):93-97.
- Pérez C.F., Gardiol J.M. and Paez M.M. (2001). Comparison of intradiurnal variation of airborne pollen in Mar del Plata (Argentina). Part I. Non-arboreal pollen. *Aerobiologia*, 17: 151–163.
- Pérez C.F., Gassmann M.I. and Covi M. (2009). An evaluation of the airborne pollen-precipitation relationship with the superposed epoch method. *Aerobiologia*, 25(4): 313–320.
- Pérez Latorre A.V. (2009). Vegetación terrestre de la provincial de Málaga. *Jábega*, 101:28-44.
- Pérez Latorre A.V and Cabezudo B. (2002). La flora y el paisaje vegetal de la provincial de Málaga. *Jábega*, 90:25-39.
- Pérez La Torre A.V., Cabezudo, B., Nieto Caldera J.M. and Navarro T. (1996). Caracterización fenológica y ecomorfológica de alcornocales andaluces (Málaga, España). *Anales ford. Bol. Madrid*, 54(1): 554-560.
- Pérez-Badía R., Rapp A., Celia M., Sardinero S., Galán C. and García-Mozo H. (2010). Pollen spectrum and risk of pollen allergy in central Spain. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 17:139-151.
- Pérez-Badía R., Rapp A., Vaquero C. and Fernández-González F. (2011). Aerobiological study in east-central Iberian Peninsula: pollen diversity and dynamics for major taxa. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 18:99-111.

- Pérez-Badía R., Vaquero C., Sardinero S., Galán C. and García-Mozo H. (2010). Intradurnal variations of allergenic tree pollen in the atmosphere of Toledo (Central Spain). *Ann. Agric. Environ. Med.*, 17:269-275.
- Pérez-Badía R., Bouso V., Rojo J., Vaquero C. and Sabariego S. (2013). Dynamics and behaviour of airborne *Quercus* pollen in central Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 29: 419-428.
- Peternel R., Čulig J., Mitić B., Vukušić I. and Šostar Z. (2003). Analysis of airborne pollen concentrations in Zagreb, Croatia, 2002. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10:107–112.
- Peternel R., J. Čulig B., Mitić I. Hrga and I. Vukuškić. (2005). Airborne pollen spectra at three sites inland Croatia, 2003. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46: 53-59.
- Peternel R., Srnc L., Culij J., Hrga I. and Hercog, P. (2006). Poaceae pollen in the atmosphere of Zagreb (Croatia), 2002–2005. *Grana*, 45, 130–136.
- Peternel R., Milanović S.M., Hrga, I., Mileta T. and Čulig J. Incidence of Betulaceae pollen and pollinosis in Zagreb, Croatia, 2002–2005. (2007). *Ann. Agric. Environ. Med.*, 14: 87-91.
- Peternel R., Milanović S.M. and Srnc L. (2008). Airborne ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen content in the city of Zagreb and implications on pollen allergy. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 15(1):125-130.
- Pinchon O. (1983). Contribution à l'étude du pollen et de la pollinisation du pommier (*Malus pumila* Miller) et prévisions de récolte à partir de l'analyse du contenu pollinique de l'atmosphère. Paper presented at the D.E.A. Agronomic. Montpellier.
- Piotrowska K. (2012). Meteorological factors and airborne *Rumex* L. pollen concentration in Lublin. *Acta Agrobotanica*, 65 (1): 45-52.
- Pita M.F. (2003). El Clima de Andalucía. In: López-Ontiveros, A. (Ed.), Geografía de Andalucía. Ariel, Barcelona, Spain, pp. 137–174.
- Pita P. and Pardos J.A (2001). Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit (2001). *Tree Physiol.*, 21(9):599-607.
- Póla J. (2003). Alergia a pólenes de Quenopodiáceas. *Revista Española de Alergología e Inmunología Clínica*, 18: 39–44.
- Poulsen K.M., Parratt M.J. and Gosling P.G. (1998). ISTA tropical and sub-tropical tree and shrub seed handbook. Zurich, Suiza.203p.
- Prados M., Aragon R., Carranco M.I., Martínez A. and Martínez J. (1995). Assessment of sensitization to holm oak (*Quercus ilex*) pollen in the Merida area (Spain). *Allergy*, 50:456-459.
- Prieto J., De Pablos L., Domínguez E. and Galán C. (2002). Aerobiología en Ciudad Real: Estación de Ciudad Real (2000-2001). *REA*, 7: 113-118.
- Prieto-Baena J.C, Hidalgo P.J., Domínguez E. and Galán C. (2003). Pollen production in the Poaceae family. *Grana*, 42:153-163.
- Puc M. (2003). Characterisation of pollen allergens. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10: 143–149.
- Puc M. (2006). Ragweed and mugwort pollen in Szczecin, Poland. *Aerobiologia*, 22:67–78.

- Puc M. (2009). Meteorological factors and pollen season dynamics of selected herbaceous plants in Szczecin, 2004–2008. *Acta Agrobot*, 62:97–109.
- Puc M. and Puc M. (2004). Allergenic airborne grass pollen in Szczecin, Poland. *Ann. Agric. Med.*, 11:237-244.
- Punt W., Hoen PP., Blackmore S., Nilsson S. and Le Thomas A. (2007). Glossary of pollen and spores terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143:1-81.
- Radauer C. and Breiteneder H. (2006). Pollen allergens are restricted to few protein families and show distinct patterns of species distribution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 117(1):141-147.
- Rallo L. and Martín G.C. (1991). The role of the chilling in releasing olive floral buds from dormancy. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 116: 1058–1062.
- Ramos A.P., Marques M.J., Fabiao A., Santos-Pereira J., Todo-Bom A., Fontes L., Neuparth N. and da Mata P.L. (2000). Concentration of airborne pollen from Cupressaceae in Lisbon. *Allergy Immunol.* 32:109–110
- Recio M. (1995). Análisis polínico de la atmósfera de Málaga (1991-1994). Relación con los parámetros meteorológicos. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal. Universidad de Málaga, Málaga, España.427p.
- Recio M. and Altamirano M.E.A. (2008). Manual y guión de prácticas de botánica. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.
- Recio M., Cabezudo B., Trigo M.M. and Toro F.J. (1996). *Olea europaea* pollen in the atmosphere of Malaga (S. Spain) and its relationships with meteorological parameters. *Grana*, 35:308-313.
- Recio M., Cabezudo B., Trigo M.M. and Toro F.J. (1997a). Accumulative air temperature as a predicting parameter for daily airborne olive pollen (*Olea europaea* L.) during the prepeak period in Malaga (Western Mediterranean area). *Grana*, 36:44-48.
- Recio M., Cabezudo B., Trigo M.M. and Toro F.J. (1998a). Pollen calendar of Malaga (southern Spain), 1991-1995. *Aerobiologia*, 14: 101-107.
- Recio M., Docampo S., García-Sánchez J., Trigo M.M., Melgar M. and Cabezudo B. (2010). Influence of temperature, rainfall and wind trends on grass pollination in Malaga (Wester Mediterranean cost). *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 931-940.
- Recio M., Picornell A., Trigo M.M., Gharbi D., García-Sánchez J., Cabezudo B. (2018). Intensity and temporality of airborne *Quercus* pollen in the southwest Mediterranean área: Correlation with meteorological and phenoclimatic variables, trends and posible adaptation to climate change. *Agriculture and Forest Meteorology*, 250-251:308-318.
- Recio M., Rodríguez-Rajo F.J., Jato V., Trigo M.M. and Cabezudo B. (2009). The effect of recent climatic trends on Urticaceae pollination in two bioclimatically different areas in the Iberian Peninsula: Malaga and Vigo. *Clim. Change*, 97:215–228.
- Recio M., Trigo M.M., Docampo S. and Cabezud, B. (2001). Análisis del contenido aeropolínico estival en la provincial de Málaga. *Acta Bot. Malacitana*, 26:89-98.
- Recio M., Trigo M.M., Docampo S. and Cabezudo B. (2002b). Modelos predictivos para las concentraciones diarias del polen de *Olea* y gramíneas en Málaga. Libro de resúmenes del XIV

- Simposio de Palinología de la Asociación de Palinólogos de Lengua Española (APLE), pp. 29-30. Salamanca, España.
- Recio M., Trigo M.M., Docampo S., Melgar M., García-Sánchez J., Bootello L. and Cabezudo B. (2012). Analysis of the predicting variables for daily and weekly fluctuations of two airborne fungal spores: *Alternaria* and *Cladosporium*. *Int. J. Biometeorol.*, 56:983–991.
- Recio M., Trigo M.M., Toro F.J. and Cabezudo B. (1997b). Incidencia del polen de *Plantago* en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Bot. Malacitana*, 22:103-113.
- Recio M., Trigo M.M., Toro F.J. and Cabezudo B. (1998b). Incidencia del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Bot. Malacitana*, 23:121-131.
- Recio M., Trigo M.M., Toro F.J. and Cabezudo B. (1999). Incidencia del polen de *Quercus* en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Acta Bot. Malacitana*, 24: 77-88.
- Recio M., Trigo M.M., Toro F.J., Docampo S. and Cabezudo, B. (2000). Estudio aerobiológico de la localidad de Antequera (Málaga, España): 1998-1999. *Acta Bot. Malacitana*, 25:165-174.
- Recio M., Trigo M.M., Toro F.J., Docampo S., García-González J.J. and Cabezudo B. (2006). A three-year aeropalynological study in Estepona (southern Spain). *Ann. Agric. Environ. Med.*, 13:201-207.
- Recio M., Trigo M.M., Docampo S. and Cabezudo B. (2002a). Estudio del ritmo intradiario del polen total en la atmósfera de Málaga durante los años 1992-1997. *REA*, 7:17-22.
- Reddi C.S., Reddi N.S. and Janakai Bai A. (1988). Circadian pattern of pollen release in some species of Poaceae. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 54: 11–42.
- Reiss N.M. and Kostic S.R. (1976). Pollen season severity and meteorologic parameters in central New Jersey. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 53(6):609–14.
- Rejmánek M., Richardson D. M. and Pyšek P. (2005). Plant invasions and invasibility of plant communities. In: van der Maarel, E., editor. (ed.). *Vegetation ecology*. pp. 332–355. Blackwell Science. Oxford, UK.
- Ribeiro H. and 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. and Abreu I. (2007). Improving early-season estimates of olive production using airborne pollen multi-sampling sites. *Aerobiologia*, 23(1):71-78.
- Ribeiro H., Oliveira M. and Abreu I. (2008). Intradial variation of allergenic pollen in the city of Porto (Portugal). *Aerobiologia*, 24:173-177.
- Ribeiro H., Santos I., Abreu I. and Cunha M. (2006). Influence of meteorological parameters on *Olea* flowering date and airborne pollen concentration in four regions of Portugal. *Grana*, 45:115-121.
- Ribeiro H., Oliveira M., Ribeiro N., Cruz A., Ferreira A., Machado H., Reis A. and Abreu I. (2009). Pollen allergenic potential nature of some trees species: a multidisciplinary approach using aerobiological, immunochemical and hospital admissions data. *Environ Res.*, 109: 328-333



- Ridolo E., Albertini R., Giordano D., Soliani L., Usberti I. and Dall'Aglio P.P. (2007). Airborne pollen concentrations and the incidence of allergic asthma and rhinoconjunctivitis in northern Italy from 1992 to 2003. *Int. Arch. Allergy. Immunol.*, 142:151–157.
- Rivas-Martínez S. and Rivas-Sánchez S. 1996-2009. Sistema de clasificación bioclimática mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas, España. <http://www.ucm.es/info/cif>.
- Rivera-Mariani F.E. and Bolaños-Rosero B. (2012). Allergenicity of airborne basidiospores and ascospores: need for further studies. *Aerobiologia*, 28: 83–97.
- Rizzi Longo L. and Sauli M.P. (2010). Flowering phenology and airborne pollen occurrence of *Corylus* and *Castanea* in Trieste (Italy), 1991-2004. 69(2): 199-214.
- Rizzi-Longo L., Pizzulin-Sauli M., Stravisi F. and Ganis P. (2007). Airborne pollen calendar for Trieste (Italy), 1990–2004. *Grana*, 46, 98–109.
- 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., Sánchez-Reyes E. and Sánchez-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., Sánchez-reyes E. and Sánchez-Sánchez J. (2011). Analysis of Chenopodiaceae-Amaranthaceae airborne pollen in Salamanca, Spain. *Turk. J. Bot.*, 36:336-343.
- Rodríguez de la Cruz D., Sánchez-Reyes E. and Sánchez-Sánchez J. (2012). 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., Dávila-González I., Lorente-Toledano F. and Sánchez-Sánchez J. (2010). Airborne pollen calendar of Salamanca, Spain, 2000–2007. *Allergologia et Immunopathologia*, 38: 307–312.
- Rodríguez R., Villalba M., Batanero E., Palmores O. and Salamanca G. (2007). Emerging pollen allergens. *Biomed. Pharmacother.*, 61:1-7.
- Rodríguez Rajo F.J., Jato V., Fernández-González M. and Jesus Aira M. (2010a). The use of aerobiological methods for forecasting *Botrytis* spore concentrations in a vineyard. *Grana*, 49: 55-65.
- Rodríguez-Rajo F. J., Aira M. J., Fernández-González M., Seijo C. and Jato V. (2011). Recent trends in airborne pollen for tree species in Galicia, NW Spain. *Climate Research*, 48: 281-291.
- Rodríguez-Rajo F. J., Valencia-Barrera R. M., Vega-Maray A. M., Suárez F. J., Fernández-González D. and Jato V. (2006). Prediction of airborne *Alnus* pollen concentration by using Arima models. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, 13: 25–32.
- Rodríguez-Rajo F.J. (2000). El polen como fuente de contaminación ambiental en la ciudad de Vigo. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Universidad de Vigo, Orense, España. 502p.

- Rodríguez-Rajo F.J., Dacosta N. and Jato V. (2002a). Aeorobiología en Galicia: Estación de Lugo (2000-2001). *REA*, 7:195-200.
- Rodríguez-Rajo F.J., Dacosta N. and Jato V. (2004a). Airborne olive onset in Vigo (Northwest Spain): a survey to forecast the onset and daily concentrations of the pollen season. *Grana*, 43:101-110.
- Rodríguez-Rajo F.J., Iglesias I. and Jato V. (2004b). Allergenic airborne pollen monitoring of Vigo (NW Spain) in 1995-2001. *Grana*, 43:164-173.
- Rodríguez-Rajo F.J., Jato V. and Aira M.J. (2003). Pollen content in the atmosphere of Lugo (NW Spain) with reference to meteorological factors (1999-2001). *Aerobiologia*, 19:213-225.
- Rodríguez-Rajo F.J., Jato, V. and Aira M.J. (2005). Relationship between meteorology and Castanea airborne pollen. *Belgian Journal of Botany*. 138(2):129-140.
- Rodríguez-Rajo F.J., Mendez J. and Jato V. (2005). Factors Affecting Pollination Ecology of *Quercus* Anemophilous Species in North-West Spain. *Bot. J. Linn. Soc.* 149 (3), 283-297.
- Rodríguez-Rajo F.J., Mendez J. and Jato V. (2002b). Aerobiología en Galicia: Estación de Vigo (2000-2001). *REA*, 7:219-224.
- Rodríguez-Rajo F.J., Astray G., Ferreiro-Lage J.A., Aira M.J., Jato-Rodríguez M.V. and Mejuto J.C. (2010c). Evaluation of atmospheric Poaceae pollen concentration using a neural network applied to a coastal Atlantic climate region. *Neural Networks*, 23:419-425.
- Rogers B.L., Bond J.F., Morgenstern J.P., Counsell C.M. and Griffith I.J. (1996). Immunological characterization of the major ragweed allergens Amb a I and Amb a II. In: Mohaparta SS, Knox RB (eds) *Pollen biotechnology: gene expression and allergen characterization*. Chapman & Hall, New York, pp 211-225.
- Rogers C.A., Wayne P.M., Macklin E.A., Muilenberg M.L., Wagner C.J., Paul R.E., Bazzaz F.A (2006). Interaction of the Onset of Spring and Elevated Atmospheric Co2 on Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) Pollen Production. *Environ. Health Perspect.*, 114(6):865-869.
- Rojo J. and Pérez-Badía R. (2015). Spatiotemporal analysis of olive flowering using geostatistical techniques. *Science of the total Environment*, 505:860-869.
- Rojo J., Rapp A., Lara B., Fernández-González F. and Pérez-Badía R. (2015). Effect of land uses and wind direction on the contribution of local sources to airborne pollen. *Science of The Total Environment*, 538: 672-682.
- Rojo J., Rapp A., Lara B., Lara B., Sabariego S., Fernández-González F. and Pérez-Badía R. (2016). Characterisation of the airborne pollen spectrum in Guadalajara (central Spain) and estimation of the potential allergy risk. *Environmental Monitoring and Assesment*, 188: 130. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5129-2>.
- Rojo J., Salido P. and Pérez-Badía R. (2015). Flower and pollen production in the Cornicabra olive (*Olea europaea* L.) cultivar and the influence of environmental factors. *Trees*, 29:1235-1245.
- Rowley J. and Skvarla J. (2000). The elasticity of the exine. *Grana*, 39:1-7
- Ruffin J., Chiao C. and Banerjee S. (1988). Detection of some airborne pollen grains and fungal spores allergens. *Grana*, 27: 243-246.
- Ruiz L. (2001). Estudio aerobiología de la atmósfera de Jaén. Espectro polinico, modelos de pronostico e incidencia de los principales aeroalergenos. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén, Jaén.



- Ruiz L., Diaz de la Guardia C., Cano A. and Cano E. (2002). Aerobiología en Andalucía: Estación de Jaén (2000-2001). *REA*, 7: 77-82.
- Rybnczek O. and Jäger S. (2001). *Ambrosia* (ragweed) in Europe. *Allergy Clin. Immunol. Int.*, 13: 60-66.
- Sabariego S. (2003). Estudio aerobiológico del polen y las esperas de la atmósfera de Almería: modelos de pronóstico e incidencia de sensibilización en la población atópica. Tesis Doctoral. Universidad de Almería, Almería.
- Sabariego S., Cuesta P., Fernández-González F. and Pérez-Badía R. (2012) Models for forecasting airborne Cupressaceae pollen levels in central Spain. *Int. J. Biometeorol.*, 56:253–258.
- Sabariego S., Díaz de la Guardia C., Alba F. and Mota J.F. (2002). Aerobiología de Andalucía: Estación de Almería (2000-2001). *REA*, 7:33-38.
- Sadiq M.A., Iftikhar A. and Naeem M. (2007). Pollen allergy hazard mapping in ICT recent advances in space technologies. RAST'07. 3rd International Conference. Istanbul, Turquía, pp. 641-646
- Sáenz C. (1978). Polen y esporas. Introducción a la palinología y vocabulario palinológico. H. Blume. Madrid. España.
- Salvador de Luna J.V. and Sánchez Sánchez J. (1990). Polen de plantas entomófilas en la atmósfera de Valladolid. In: Blanca G., Díaz C., Fernández M.C., Garrido. M., Rodríguez M.I., and Romero A.T. (Eds.), Polen, esporas y sus aplicaciones. VII Simposio de Palinología (pp.363-368). Granada: Universidad de Granada.
- Sánchez Mesa J.A., Brandao R., Lopes L. and Galán C. (2005). Correlation between pollen counts and symptoms in two different areas of the Iberian Peninsula: Córdoba (Spain) and Evora (Portugal). 15(2):112-116.
- Sánchez-Laulhé J.M. and Polvorinos F. (1997). Entradas bruscas de vientos de levante en la Costa Norte de Alborán. In: IV Simposio Nacional de Predicción, Memorial “Alfonso Ascaso”, Madrid, 15–19 April 1996.
- Sánchez-Gómez D., Valladares F. and Zavala M.A. (2006). Performance of seedlings of Mediterranean woody species under experimental gradients of irradiance and water availability: trade-offs and evidence for niche differentiation. *New Phytologist.*, 170:795–806.
- Sánchez-Mesa J.A., Galán C. and Hervás-Martínez C. (2005). The use of discriminant analysis and neural network to forecast the severity of the Poaceae pollen season in a region with a typical Mediterranean climate. *Int. J. Biometeorol.*, 49:355–362.
- Sánchez-Mesa J.A., Smith M., Emberlin J., Allitt U., Caulton E. and Galán C. (2003). Characteristic of grass pollen seasons in area of southern Spain and the United Kingdom. *Aerobiologia*, 19:243–250.
- Sánchez-Reyes E., Rodríguez de la Cruz D., Sanchís-Merino M.E. and Sánchez-Sánchez J. (2009). First results of *Platanus* pollen airborne content in the middle-west of the Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 25:209-215.
- Sánchez-Salguero R., Navarro-Cerrillo R.M., Swetnam T. W. and Zavala M.A. (2012). Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations. *Forest Ecology Management*, 271: 158–169.



- Saumande J., Saumande P. and Germouty J. (1980). Le calendrier pollinique de Limoges. *Rev. Franc. Allergol.* 20(2):83-91.
- Sauliene I. and Gutauskaite V. (2007). Analysis of diurnal variations of airborne pollen in the atmosphere. *Cross-Border Cooperation in Researches of Biological Diversity*.
- Sautour M., Sixt N., Dalle F., L'Ollivier C., Fourquenot V., Calinon C., Paul K., Valvin S., Maurel A., Aho S., Couilault G., Cachia C. Odile V., Cuisenier B., Caillot D. and Bonnin A. (2009). Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital. *Science Total Environment*, 407:3766–71.
- Ščevková J., Dušička J., Chrenová J. and Mičieta K. (2010). Annual pollen spectrum variations in the air of Bratislava (Slovakia): years 2002–2009. *Aerobiologia*, 26(4):277–287.
- Ščevková J., Dušička J., Micieta K. and Somorcík J. (2015). Diurnal variation in airborne pollen concentration of six allergenic tree taxa and its relationship with meteorological parameters. *Aerobiologia*, 31: 457-468.
- Scott R.J. (1994). Pollen exine – the sporopollenin enigma and the physics of pattern. In: Scott R.J., Stead M.A., eds. *Society for Experimental Biology Seminar Series 55: molecular and cellular aspects of plant reproduction*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 49–81.
- Sell Y., Evrard J. and Guerin B. (1993). Plantes, fleurs et taxons allergisantes. In: Anonymos. *Pollen et allergies*. pp 27-194. Edition Allerbio, Varennes-en-Argonne, France.
- Sen P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. American Statist Assoc.*, 63:1379-1389.
- Shea K.M., Truckner R.T., Weber R.W. and Peden D.B. (2008). Climate change and allergic disease. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 122(3):443–453.
- Sicard P., Thibaudon M., Besancenot J.P. and Mangin A. (2012). Forecast models and trends for the main characteristics of the *Olea* pollen season in Nice (south-eastern France) over the 1990–2009 period. *Grana*, 51: 52-62.
- Siljamo P., Sofiev M., Severova E., Ranta H., Kukkonen J., Polevova S., Kubin E. and Minin A. (2008). Sources, impact and exchange of early-spring birch pollen in the Moscow region and Finland. *Aerobiologia*, 24(4): 211-230.
- Silva C.F., Shvaleva A., Maroco J.P. Almeida M.H., Chaves M.M. and Pereira J.S. (2004). Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance. *Tree Physiol.*, 24(10):1165-1172.
- Silva I., Moreno A. Muñoz A.F. and Tormo R. (2002). Aerobiología en Extremadura: estación de Badajoz (2000). *REA*, 7: 173-176.
- Silva Q.G.P. (1989). Analysis of airborne pollen at the Serra do Pilar observatory (Geophysical Institute of the University of Oporto) during the years 1969 and 1970. *Boletim Da Sociedade Broteriana* 62:263–288.
- Silva-Palacios I., Tormo-Molina R. and Muñoz-Rodríguez A. F. (2000). Influence of wind direction on pollen concentrations in the atmosphere. *International Journal of Biometeorology*, 44(3): 128–133.



- Simoleit A., Werchan M., Werchan B., Mucke H.G., Gauger U., Zuberbier T. and Bergman K.C. (2017). Birch, grass and mugwort pollen concentrations and intradiurnal patterns at two different urban sites in Berlin, Germany, *Allergo Journal International*, 26(5): 155-164.
- Sin A.Z., Ersoy R., Gulbahar O., Ardeniz O. Gokmen N.M. and Kokuludag, A. (2008). Prevalence of Cypress Pollen Sensitization and its Clinical Importance in Izmir Turkey, with Cypress allergy assessed by nasal provocation. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 18(1):46-51.
- Singer B.D., Ziska L.H., Frenz D.A., Gebhard D.E. and Straka J.G. (2005). Increasing Amb a 1 content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Funct. Plant Biol.*;32: 667–670.
- Singh A.B. and Kumar P. Aeroallergens in Clinical practice of allergy in India. An overview. (2003). *Ann. Agric. Environ. Med*, 10:131-136.
- Singh N.I. (1983). Atmospheric pollen flora of Shillong (India). *Biological Memoirs*, 8:201–206.
- Singh P., Kumar V., Thomas T. and Arora M. (2008). Basin-wide assessment of temperature trends in northwest and central India/ Estimation par bassin versant de tendances de température au nord-ouest et au centre de l'Inde. *Hydrological Sciences Journal*, 53: 421-433.
- Singh A. B., Kapoor A., Singh K., Parkash D. and Menon M. P. S. (1973). A preliminary report on the allergenicity of various parts of *Ricinus communis*. *Aspects Allergy Appl. Immunol.*, 6: 61–68.
- Smith M, Emberlin J., Stach A., Rantio-Lehtimäki A., Caulton E., Thibaudon M., Sindt C., Jäger S., Gehrig R., Frenguelli G., Rodríguez-Rajo F.J., Alcázar P. and Galán C. (2009). Influence of the North Atlantic Oscillation on grass pollen counts in Europe. *Aerobiologia*, 25(4):321–332.
- Smith M. and Emberlin J. (2006). A 30-day-ahead forecast model for grass pollen in north London, United Kingdom. *International Journal of Biometeorology*, 50:233-242.
- Smith M., Emberlin J., Stach A., Rantio-Lehtimäki A., Caulton E., Thibaudon M., Sindt C., Jäger S., Gehrig R., Frenguelli G., Jato V., Rodríguez Rajo J.F., Alcázar P. and Galán C. (2009). Influence of the North Atlantic Oscillation on grass pollen counts in Europe. *Aerobiologia*, 25: 321–332.
- Smith M., Emberlin J., Stach A., Czarnecka-Operacz M., Jenerowicz D. and Silny W. (2007). Regional importance of *Alnus* pollen as an aeroallergen: a comparative study of *Alnus* pollen counts from Worcester (UK) and Poznań (Poland). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14(1):123-128.
- Sofia G., Emma T., Veronica T. And Guiseppe F. (2017). Climate change: consequences on the pollination of grasses in Perugia (Central Italy). A 33-year-long study. *International Journal of Biometeorology*, 61(1):149-158.
- Sofiev M., Bousquet J., Linkosalo T., Ranta H., Rantio-Lehtimäki A., Siljamo P., Valovirta E. and Damialis A. (2009). Pollen, Allergies and Adaptation. In: Ebi K.L., Burton I., McGregor G.R. (eds) *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*. Springer, Vol 1, Springer, Netherlands, p. 75-106.
- Sofiev M., Siljamo P., Ranta H. and Rantio-Lehtimäki A. (2006). Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study. *Int. J. Biometeorol.*, 50:392–402.

- Sousa A., García-Barrón L. and Jurado V. (Coord.) (2007). El cambio climático en Andalucía: Evolución y consecuencias medioambientales. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Spieksma F.Th.M. and Frenguelli G. (1991). Allergenic significance of *Alnus* (alder) pollen. In: D'Amato G, Spieksma F.T.M., Bonini S (Eds): Allergenic Pollen and Pollinosis in Europe, 85-87. Blackwell Scientific Publications, London.
- Spieksma F.Th.M., Frenguelli G., Nikkels A.H., Mincigrucchi G., Smithius L.O.M.J., Bricchi E., Dankhaart W. and Romano B. (1989). Comparative study of airborne pollen concentrations in central Italy and The Netherlands: emphasis on *Alnus*, Poaceae, and *Artemisia*. *Grana*, 28: 25–36.
- Spieksma F.Th.M (1991a). Regional European Pollen Calendars. En: D'Amato, G., Spieksma F.Th.M. and Bonini S. (eds). Allergenic pollen and pollinosis in Europe: 49-65. Blackwell Scientific Publications. Cambridge, Inglaterra.
- Spieksma F.Th. M. (1991b). Allergenic pollen and pollinosis in the Netherlands. En: D'Amato, G., Spieksma F.th.M. and Bonini S. Allergenic pollen and pollinosis in Europe: 203-206. Blackwell Scientific Publications. Cambridge, Inglaterra.
- Spieksma F.Th.M. (1992). Allergological aerobiology. *Aerobiologia*, 8 (1): 5-8.
- Spieksma F.Th.M. and Von Wahl P.G (1991). Allergenic significance of *Artemisia* (Mugwort) pollen. In: D'Amato, G., Spieksma, F.th.M., Bonini, S. Allergenic pollen and pollinosis in Europe: 121-124. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Inglaterra.
- 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. and Emberlin J. (2003). Quantitative trends in annual total of five common airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, Poaceae, *Urtica*, and *Artemisia*), at five pollen-monitoring stations in Western Europe. *Aerobiologia*, 19:171-184.
- Spieksma F.Th.M., Emberlin J., Hjelmroos M., Jäger S. and Leushner R.M. (1995). Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. *Grana*, 34:51-57.
- Spieksma F.Th.M., Nolard N. and Frenguelli G. (1993). Polen atmosférico en Europa. In: Spieksma F.Th.M., Nolard N., Frenguelli G. and Van Moerbehe D. Polen atmosférico en Europa. Ed. Braine l'Alleud, Bruselas.
- Spieksma F.Th.M., Charpin H., Nolard N. and Stix E. (1980). City spore concentrations in the European Economic Community (EEC) IV. Summer weed pollen (*Rumex*, *Plantago*, Chenopodiaceae, *Artemisia*), 1976 and 1977. *Clin. Allergy*, 10: 319–329.
- Spieksma Th.F.M., Frenguelli G., Nikkels A.H., Mincigrucchi G., Smithuis L.O.M.T., Bricchi E., Dankhaart W. and Romano B. (1989). Comparative study of airborne pollen concentration in central Italy and the Netherlands (1982–1985). *Grana*, 28: 25–36.
- Ssya (2011). Spanish statistical yearbook of agriculture. Ministry of Agriculture, Food and Environment. <http://www.magrama.gob.es/es/>.
- Stach A. (2000). Variation in pollen concentration of the most allergenic taxa in Poznan (Poland), 1995–1996. *Aerobiologia*, 16: 63–68.

- Stach A., Garcia-Mozo H., Prieto-Baena J. C., Czarnecka-Operacz M., Jerenowicz D., Silny W. and Galán C. (2007). Prevalence of *Artemisia* Species Pollinosis in Western Poland: Impact of Climate Change on Aerobiological Trends, 1995–2004. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 17(1): 39–47.
- Stach A., Smith M., Prieto-Baena J.C. and Emberlin J. (2008). Longterm and short-term forecast models for Poaceae (grass) pollen in Poznan, Poland, constructed using regression analysis. *Environ. Exp. Bot.*, 62: 323–332.
- Staffolani L., Velasco-Jiménez M.J., Galán C. and Hruska K. (2011). Allergenicity of the ornamental urban flora: ecological and aerobiological analyses in Córdoba (Spain) and Ascoli Piceno (Italy). *Aerobiologia*, 27:239–46.
- Standing R., Spackman V. and Porter S.J. (1987). Distribution of a major allergen of rye grass (*Lolium perenne*) pollen between other grass species. *Int. Arch. Allergy Appl. Immunol.*, 83: 96–103.
- Stanley R.G. and Linskens H.F. (1974). Pollen: biology, biochemistry and management. Springer-Verlag, New York, 307 p.
- Stark P.C., Ryan L.M., McDonald J.L. and Burge H.A. (1997). Using meteorologic data to predict daily ragweed pollen levels. *Aerobiologia*, 13:177-184.
- Stennett P.J. and Beggs P.J. (2004). Pollen in the atmosphere of Sydney, Australia, and relationships with meteorological parameters. *Grana*, 43:209–216.
- Stevenson J., Haberle S.G, Johnston F.H. and Bowman D. (2007). Seasonal distribution of pollen in the atmosphere of Darwin, tropical Australia: Preliminary results. *Grana*, 46:34-42.
- Stokes J.R., Hartel R., Ford L.B. and Casale T.B. (2000). *Cannabis* (hemp) positive skin test and respiratory symptoms. *Ann. Allergy Asthma Immunol.*, 85: 238-240.
- Subiza E. (1980). Incidencia del grano de polen en Madrid. Método volumétrico. *Allergol. Et Immunopathol.*, Suplementum VII: 261-270.
- Subiza F.J., Pola J., Feo F. and Moral A.J. (2007). Pólenes de interés en alergología en nuestro medio. Pélaez A. and Dávila I.J. (Eds.), In: *Tratado de Alergología* (pp. 425–446). Madrid: Ergón.
- Subiza J. (2003). Gramineas: Aerobiología y polinosis en España. *Allergol. Inmunol. Clin.* 18 (3): 7–23.
- Subiza J. and Jérez M. (2002). Gramineas, pp: 25-40. In: Valero, A.L. and Cadadia, A. Polinosis. Polen y alergia (eds). Mra ediciones. Barcelona. *España*.
- Subiza J., Cabrera M., Valdivieso R., Subiza J.L., Jérez M., Jiménez J.A., Narganes M.J. and Subiza E. (1994). Seasonal asthma caused by airborne *Platanus* pollen. *Clinical and Experimental Allergy*, 24:1123-1129.
- Subiza J., Feo Brito F., Pola J., Moral A., Fernández J., Jérez M. and Ferreiro M. (1998). Pólenes alergénicos y polinosis en 12 ciudades españolas. *Rev. Esp. Alergol. Inmunol Clin.* 13:45–48.
- Subiza J., Jérez M., Jimenez J.A., Narganes M.J., Cabrera M., Varela S. and Subiza E. (1995). Clinical aspects of allergic disease. Allergenic pollen and pollinosis in Madrid. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 96 (1):15-23.
- Subiza J. (2001). How to interpret pollen counts. *J. Invest. Allergol. Clin. Immunol.*, 16: 59–65.

- Suliaman F.A., Holmes W.F., Kwick S., Khouri F. and Ratard R. (1997). Pattern of Immediate Type Hypersensitivity Reactions in the Eastern Province, Saudi Arabia. *Ann. Allergy Asthma Immunol.*, 78 (4): 415-418.
- Summerfield R.J., Ellis R.H., Craufurd P.Q., Aiming Q., Roberts E.H. and Wheeler T.R. (1997). Environmental and genetic regulation of flowering of tropical annual crops. *Euphytica*, 96(1):83-91.
- Syrigou E., Zanikou S. and Papageorgiou P. S. (2003). Grasses, olive, parietaria and cypress in Athens: Pollen sampling from 1995 to 1999. *Aerobiologia*, 19: 133–137.
- Tampieri F., Mandrioli P. and Puppi G.L. (1977). Medium range transport of airborne pollen. *Agricultural Meteorology*, 18:9-20.
- Tanaka H., Degawa M., Kawata E., Hayashib J. and Shoyama Y. (1998). Identification of Cannabis pollens using an allergic patient's immunoglobulin E and purification and characterization of allergens in Cannabis pollens. *Forensic Sci. Int.*, 97:139–153.
- Tamarcaz P., Lambelet C., Clot B., Keimer C. and Hauser C. (2005). Ragweed (*Ambrosia*) progression and its health risks: will Switzerland resist this invasion? *Swiss Med Wkly* 135:538–548.
- Targow A.M. (1971). The mulberry tree: a neglected factor in respiratory allergy in southern California. *Ann. Allergy*; 29:318–22.
- Tedeschini E., Rodríguez-Rajo F. J., Caramiello R., Jato V. and Frenguelli G. (2006). The influence of climate changes in *Platanus* spp. pollination in Spain and Italy. *Grana*, 45: 222–229.
- Thibaudon M., Outteryck R. and Lachasse C. (2005). Bioclimatologie et Allergie. *Revue française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 45 (6):447-455.
- Tommaso Bonofiglio T., Orlandi F., Ruga, L., Romano B., Fornaciari M. (2013). Climate change impact on the olive pollen season in Mediterranean areas of Italy: air quality in late spring from an allergenic point of view. *Environ. Monit. Assess*, 185(1):877–90.
- Tormo Molina R., Silva Palacios I., Muñoz R., Muñoz J.T. and Corcheros A.M. (2001). Environmental factors affecting airborne pollen concentration in anemophilous species of *Plantago*. *Annals of Botany*, 87:1-8.
- Tormo-Molina R., Gonzalo-Garijo A., Silva-Palacios I. and Muñoz-Rodríguez A. (2010) General Trends in airborne pollen production and pollination periods at a mediterranean site (Badajoz, Southwest, Spain). *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 20(7):567–574.
- Toro F.J. (1997). Estudio aerobiológico de la costa del Sol occidental: Málaga y Estepona (1995-1997). Análisis comparativo y modelos de pronóstico. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal. Universidad de Málaga, Málaga, España. 668p.
- Toro F.J., Recio M., Trigo M.M. and Cabezedo B. (1997). Contenido polínico de la atmósfera de Estepona (Málaga): año 1996. *Acta Bot. Malacitana*, 22:115-122.
- Toro F.J., Recio M., Trigo M.M. and Cabezedo B. (1998). Predictive models in aerobiology: data transformation. *Aerobiologia*, 14: 179-184.
- Torre F.D., Limonta A., Molinari A., Masala E., Vercelloni S. and Torre E.D. (2007). Cannabaceae pollen in the atmosphere of Brianza, Northern Italy. *Eur. Ann. Allergy Clin. Immunol.*, 39: 9-11.



- Torrecillas M., García J.J., Palmoque M.T., Muñoz C., Barcelo J.M., De la fuente J.L., Chicote J.M. and Miranda A. (1998). Prevalencia de sensibilizaciones en pacientes con polinosis en la provincia de Málaga. *Rev. Esp Alergol Immunol Clin.*, 13 (2):122-125.
- Tortajada B. and Mateu I. (2002). Aerobiología en la comunidad valenciana: *Estación* de Burjassot (2000-2001). *REA*, 7: 167-172.
- Travaglini A., Albertini R. and Zieger E. (2009). Manuale di gestione e qualità della Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia R.I.M.A. Tipografía LEGO, Bologna, p.147.
- Trigo M.M. (1984). Aportación al estudio palinológico de la flora ornamental de la ciudad de Málaga. Gimnospermas. *Acta Bot. Malacitana*, 14:238-244.
- Trigo M.M. (1984). Flora y vegetación de la Sierra de Nerja. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología Vegetal. Universidad de Málaga, Málaga, España. 174 p.
- Trigo M.M. (1989). Aportación al estudio palinológico de la flora ornamental de la ciudad de Málaga: Gimnospermas. *Acta Bot. Malacitana*, 14: 238-244.
- Trigo M.M. (1992). Flora ornamental y jardines de Málaga. Contribución al estudio polínico de especies con interés alérgico. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Málaga, España.
- Trigo M.M. and Fernández I. (1994). Contribución al estudio polínico de especies ornamentales con interés alérgico cultivadas en Málaga: Dicotiledóneas. *Acta Bot. Malacitana*, 19: 145- 168.
- Trigo M.M. and Fernández I. (1995). Contribución al estudio polínico de especies ornamentales con interés alérgico cultivadas en Málaga: Monocotiledóneas. *Acta Bot. Malacitana*, 20: 61-70.
- Trigo M.M. and García I. (1990). Morfología polínica de plantas ornamentales. Leguminosas. *Acta Bot. Malacitana*, 15: 45-67.
- Trigo M.M., Andersen, M., Toro F.J., Cano, M., Dopazo, M.A., García, H., Sabariego S., Ruiz L. and Cabezudo B. (2000a). Annual variations of airborne *Casuarina* pollen in the Iberian Peninsula. *Polen*, 10: 71-77.
- Trigo M.M., Cabezudo B., Recio M. and Toro F.J. (1996a). Annual, daily and diurnal variations of Urticaceae airborne pollen in Málaga (Spain). *Aerobiologia*, 12: 85-90.
- Trigo M.M., Fernández Ruiz M.C. and Salvo A.E. (1990). Sobre la palinología de las especies anemófilas más frecuentes en bordes de caminos de la ciudad de Málaga. 355-362 pp. In: Blanca G., Diaz de la guardia, M.C., Fernández M., Garrido, M., Rodríguez García, I. and Romero García, A.T. (eds.). *Polen, esporas y sus aplicaciones*. VII Simposio de Palinología, A.P.L.E., Granada, España, Septiembre 1988.
- Trigo M.M., Gharbi D., Ruiz S. and Recio M. (2015). The use of Cyclohexane as a new adhesive for airborne pollen sampling. Mediterranean Palynology Symposium. p 119. 8-10 September, Rome, Italy.
- Trigo M.M., Jato V., Fernández-González D. and Galán C. (2008). Atlas aeropalínico de España. Secretariado de Publicaciones, Universidad de León. León.
- Trigo M.M., Melgar M. Garcia J., Recio M., Docampo S. and Cabezudo B. (2007). El polen en la atmósfera de Vélez-Málaga. Concejalía de Medio Ambiente. Ayuntamiento de *Vélez-Málaga*. Málaga. España. 156p.

- Trigo M.M., Recio M., Docampo S., Melgar M. and Cabezudo B. (2005). El polen atmosférico como indicador de cambio climático. XX Jornadas Internacionales de Fitisociología, Málaga, 12-16 de septiembre. pp 96-97.
- Trigo M.M., Recio M., Toro F.J. and Cabezudo B. (1996b). Comportamiento estacional e intradiurno del polen de Poaceae en la atmósfera de Málaga y su relación con los parámetros meteorológicos. *Bot. Macaronésica*, 23: 131-142.
- Trigo M.M., Recio M., Toro F.J. and Cabezudo B. (1997). Intradiurnal fluctuation in airborne pollen in Málaga (S. Spain): a quantitative method. *Grana*, 36: 39-43.
- Trigo M.M., Toro F.J., Recio M. and Cabezudo B. (2000b). A statistical approach to comparing the results from different aerobiological stations. *Grana*, 39: 252-258.
- Trigo M.M., Jato V., Fernández D. and Galán C. Atlas aeropalinológico de España. Secretariado de Publicaciones. Universidad de León (2008).
- Türe C. and Böcük H. (2009). Analysis of airborne pollen grains in Bilecik, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 151:27-35.
- UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione. (2004). Qualità dell'Aria método di campionamento e Conteggio dei granuli pollinici e delle spore fungine aerodisperse. Classificazione ICS, 13(040), 20.
- Valdés B., Díez M. J. and Fernández I. (Eds.) (1987). Atlas polínico de Andalucía Occidental. Sevilla: *Inst. Desarr. Reg.* 43, Sevilla Univ. & Diput. Cádiz.
- Valdés B., Talavera S. and Fernández-Galiana E. (Eds.). (1987). Flora de Andalucía Occidental, 3 vols. Ketres Editora, Barcelona.
- Vallverdú A., García Ortega P., Martínez J., Martínez A., Esteban M.I., Molina M., Fernández-Távora L., Fernández J., Bartolomé B. and Palacios R. (1997). *Mercurialis annua*: Characterization of main allergens and cross-reactivity with other species. *Int. Arch.Allergy Immunol.*, 112:356-364.
- Van Vliet A., Overeem A., de Groot R., Jacobs A., Spijksma F.T.M. (2002). The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *Int. J. Climatol.* 22:1757-1767.
- Vaquero del Pino C. (2015). Estudio de la variación intradiaria de los principales tipos polínicos en la atmósfera de Castilla-La Mancha. Tesis Doctoral, Universidad Castilla-La Mancha. 512pp.
- Vaquero C., Rodríguez-Torres A., Rojo J. and Pérez-Badía R. (2013). Airborne pollen of allergenic herbs species in Toledo (Spain). *Environ. Monit. Asses.*, 185:335-346.
- Vara A., Fernández-González M., Aira M.J. and Rodríguez-Rajo F.J. (2016). Oleaceae cross-reactions as potential pollinosis cause in urban areas. *Sci. Total Environ.*, 542 (A):435-440.
- Varela S., Subiza J.L. Rodríguez R., García B., Jérez M., Jiménez J.A. and Panzani R. (1997). *Platanus* pollen as an important cause of pollinosis. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 100 (6):748-754.
- Vázquez L. (2003). Estudio aerobiológico y fonológico de una planta de interés económico, el olivo. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Vega Maray A.M., Fernández D., Valencia R.M., Fernández A.B., Santos F. and Latasa M. (2002b). Aerobiología en Castilla y León: Estación de León (2000-2001). *REA*, 7:119-124.



- Vega Maray A.M., Valencia R.M., Fernández D., Fernández A.B. Mencia, J. and Díaz C. (2002a). Aerobiología en Castilla y Leon: Estación de Ponferrada (2000-2001). *REA*, 7:125-130.
- Vega-Maray A.M, Valencia-Barrera R.M, Fernández-González D.F. and Fraile R. (2003). Urticaceae pollen concentration in the atmosphere of north western Spain. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 10: 249-255.
- Vega-Maray A.M., Valencia-Barrera R.M., Fernández-González D., Fernández-Salegui A.B., Mencia J. and Díaz C. (2002b). Aerobiología en Castilla y León: Estación de Ponferrada (2000–2001). *REA*, 7:125–130
- Velasco-Jiménez M.J., Alcázar P. Valenzuela L.R., Gharbi D., Díaz de la Guardia C. and Galán, C. (2017). *Pinus* pollen season trend in South Spain. *Plant Biosystems*, <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2017.1311962>.
- Velasco-Jiménez M.J., Alcázar P., Valle A., Trigo M.M., Minero F., Domínguez-Vilches E., Galán C. (2014). Aerobiological and ecological study of the potentially allergenic ornamental plants in south Spain. *Aerobiologia*; 31:91–101.
- Velasco-Jiménez M.J., Arenas M., Alcázar P., Galán C. and Domínguez-Vilches E. (2015). Aerobiological and phenological study of *Pistacia* in Córdoba city (Spain). *Science of the Total Environment*, 505:1036-1042.
- Velázquez E., Serrano P., González M.T., Parra V., Morales C. and Díaz-Fernández, M. (2001). Hipersensibilidad al polen de *Diplotaxis virgata* (Jaramago). SAAIC, XXX Reunión de la Sociedad Andaluza de Alergología e Inmunología Clínica. 163-164.
- Verdú M. and García-Fayos P. (2002). Ecología reproductiva de *Pistacia lentiscus* L. (Anacardiaceae): un anacronismo evolutivo en el matorral mediterráneo. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75:57–65.
- Vik H., Florvaag E. and Elsayed S. (1991). Allergenic significance of *Betula* (birch) pollen. In: G. D'Amato, F.Th.M. Spieksma and S. Bonini (eds), *Allergenic pollen and pollinosis in Europe*. Blackwell Scientific Publications: Oxford-Vienna, pp. 94-97.
- Viñas M. (2002). Betuláceas. pp: 121-128. In: Valero. and Cadahia A. Polinosis. Polen y alergia (eds). mra ediciones. Barcelona. España.
- Von Wahl P.G. and Puls K.E. (1991). Pollenemission und Pollenflug von Krauterpollen. *Artemisia vulgaris*, *Plantago lanceolate* und *Rumex* ssp. *Grana*, 30:260-264.
- Waisel Y., Mienis Z., Kosman E. and Geller-Bernstein C. (2004). The partial contribution of specific airborne pollen to pollen induce allergy. *Aerobiologia*, 20:197–208.
- Wakil A., Mackenzie G., Diego-Taboada A., Bell J. G., and Atkin. S. L. (2010). Enhanced Bioavailability of Eicosapentaenoic Acid from Fish Oil After Encapsulation Within Plant Spore Exines as Microcapsules. *Lipids*, 45(7): 645-649.
- Wallin J.E., Segerström U., Rosenhall L., Bergmann E. and Hjelmroos M. (1991). Allergic symptoms caused by long-distance transported birch pollen. *Grana*, 30: 265–268.
- Watson H.K. and Constable D.W. (1991). Allergenic significance of *Plantago* pollen. In D'Amato G., Spieksma F. Th. M. and Bonini S. (Eds.). *Allergenic pollen and pollinosis in Europe* (pp. 132–134). Oxford: Blackwell Scientific Publications.



- Weber R.W. (2007). Cross-reactivity of pollen allergens: impact on allergen immunotherapy. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 99(3):203-212.
- Weryszko-Chmielewska E. and Piotrowska K. (2004). Airborne pollen calendar of Lublin, Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11: 91–97.
- Weryszko-Chmielewska E., Puc M., Piotrowska K. (2006) Effect of meteorological factors on *Betula*, *Fraxinus* and *Quercus* pollen concentrations in the atmosphere of Lublin and Szczecin, Poland. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 13:243–249
- Wodehouse R.P. (1935). Pollen grains: their structure, identification and significance in science and medicine. New York, NY, USA: McGraw-Hill Co., Inc.
- Wright C.W. (2001). *Artemisia*, Medicinal and Aromatic Plants. Industrial profiles, 1st edn. Taylor and Francis.
- Würtzen P.A., Nelson H.S., Lowenstein H. and Ipsen H. (1995). Characterization of Chenopodiales (*Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Kochia scoparia*, *Salsola pestifer*) pollens allergens. *Allergy*, 50: 489-497.
- Wuthrich B., Helbling A. and Primault B. (1983). Pollinosis III. Pollen calendar of Zurich and the main pollen species for Allergology. *Schweiz Med. Wochenschr.* 113: 170–183.
- Yu X.S., Ekramoddoullah A.K.M. and Misra S. (2000). Characterization of Pin m III cDNA in western white pine. *Tree Physiol*, 20: 663-671.
- Zanforlin M. and Incorvaia C. (2004). A case of pollinosis to *Broussonetia papyrifera*. *Allergy*, 59(10):1136-1137.
- Zhang Q., Li J.F., Chen Y.D. and Chen X.H. (2011). Observed changes of temperature extremes during 1960–2005 in China: natural or human-induced variations? *Theor. Appl. Climatol.* 106:417–431.
- Zhang Y., Bielory L. and Georgopoulos PG. (2014). Climate change effect on *Betula* (birch) and *Quercus* (oak) pollen seasons in the United States. *International Journal of Biometeorology*, 58(5): 909-919.
- Zhang Y., Bielory L., Mi Z.Y., Cai T., Robock A. and Georgopoulos P. (2015). Allergenic pollen season variations in the past two decades under changing climate in the United States. *Glob. Chang. Biol.*, 2: 1581-1589.
- Ziello C., Sparks T.H., Estrella N., Belmonte J., Bergmann K.C., Bucher E., Brighetti M.A., Damialis A., Detandt M., Galán C., Gehring R., Grewling I., Gutiérrez Bustillo A.M., Hallsdóttir M., Kockhans-Bieda M.C., De Linares C., Myszkowska D., Páldy A., Sánchez A., Smith M., Thibaudon M., Travaglini A., Uruska A., Valencia-Barrera Rosa M., Vokou D., Wachter R., de Weger A. L., Menzel A. (2012). Changes to airborne pollen counts across Europe. PLoS One. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034076>.
- Zisk L. H and Caulfield F.A. (2000). Rising CO<sub>2</sub> and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), a known allergy-inducing species: implications for public health. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27(10): 893-898.
- Ziska L.H. and Beggs P.J. (2012). Anthropogenic climate change and allergen exposure: the role of plant biology. *J. Allergy Clin. Immun.*, 129:27-32.
- Ziska L.H., Epstein P.R. and Schlesinger W.H. (2009). Rising CO<sub>2</sub>, climate change, and public health: exploring the links to plant biology. *Environ Health Perspect.*, 117: 155–8.



## Bibliografía

---

Zivitz N. (1942). Allergy to Australian pine. *J. Allergy*, 13: 314-16.

Zohary D. and Hopf M. (2000). Domestication of plants in the Old World, 3rd edn. Oxford University Press, Oxford.







## Anexo 1. Thesis abstract

### 8.1. Introduction

The prevalence of respiratory diseases, including allergic rhinitis and asthma, is estimated to reach 40% in European countries (D'Amato *et al.*, 2007). This problem is all the more complex in that many factors must be considered, such as the evolution of our way of life as well as environmental changes. For example, climatic factors, along with air pollution, produce a wide range of impacts on vegetation, altering specific phenological phases and, consequently, the production and release of pollen in the air (D'Amato *et al.*, 2016).

In recent years, many researchers have pointed out the usefulness of using the airborne pollen historical databases for researching about the impact of climate change on plant phenology, as it can provide information regarding the response of the different taxa to this phenomenon (Emberlin *et al.*, 1997; Galán *et al.*, 2001; Menzel *et al.*, 2006; Recio *et al.*, 2009; Ariano *et al.*, 2010; Jato *et al.*, 2015; D'Amato *et al.*, 2016; Galán *et al.*, 2016). In this way, aerobiological data are presented as bio-indicators, constituting a tool to try to understand the phenomenon (Ziska & Beggs, 2012).

In Spain, long databases are available in a large number of stations belonging to the Spanish Aerobiology Network (REA), in which several works have been carried out related to the dynamics and evolution of pollen concentrations over time (Alcázar *et al.*, 2011; García-Mozo *et al.*, 2010; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2010; Oteros *et al.*, 2013; Fernández-Llamazares *et al.*, 2014; Cariñanos *et al.*, 2014; Galán *et al.*, 2016).

In the case of Malaga, aerobiological samplings began in 1991, giving rise to several studies focused on the atmospheric incidence of the different pollen types in several localities of the province of Malaga as well as their relationships with the meteorological parameters, both short (Recio *et al.*, 1996; Trigo *et al.*, 1996; Recio *et al.*, 1999; Recio *et al.*, 2001; Melgar, 2010) as long-term in the case of taxa such as Urticaceae (Recio *et al.*, 2009), Poaceae (Recio *et al.*, 2010) or *Quercus* (Recio *et al.*, 2018).

The general purpose of this doctoral thesis is to study the climatic trends in our area of study, as well as its relationship with the general evolution of the pollen content of the atmosphere in Malaga during the last 25 years.

### 8.2. Objectives

The objectives proposed when designing and carrying out this doctoral thesis were the following:

1. To carry out a qualitative and quantitative study of the pollen content of the atmosphere of Malaga over 25 years of continuous sampling (1991-2015), analysing the seasonal evolution of total pollen and of each of the types identified, as well as the inter-annual differences and the intradiurnal distribution of the predominant types in the locality.
2. To analyse the evolution of meteorological parameters during the same time series, in order to know their influence on the intensity and seasonality of these pollen types studied.

3. To study the existing relationships between pollen concentrations and the different meteorological parameters, by means of correlation and regression analysis, in order to establish forecast models for the main pollen types.
4. To search for the possible trends detected, analysing the dynamics of the most abundant pollen types in the atmosphere of Malaga and, consequently, determine its possible relationship with the phenomenon of climate change.
5. To establish a pollen calendar with all the data collected during the period 1991-2015.
6. To carry out a comparative study between the methodology used for the Spanish and Italian networks regarding pollen counts.

### 8.3. Material and Methods

Aerobiological samplings were carried out with the aid of a 7-day recorder Hirst volumetric pollen trap (Hirst, 1952), with a sucking rate of 10 l per minute. The sampler operated continuously and was situated in the University Campus of Teatinos, in an open area without nearby buildings that could obstruct the free air circulation. The pollen trap was moved in July 2000 from the roof of the Faculty of Medicine to the roof of the Faculty of Sciences, over a distance of approximately 150 m.

Pollen counts were done following the methodology proposed by the Spanish Aerobiology Network, the REA (Gálan *et al.*, 2007). Pollen concentrations are expressed as the number of pollen grains/m<sup>3</sup> of air. For the elaboration of tables and graphs, the daily means as well as the annual pollen indexes were used.

The study of the trends followed by both total pollen and the main pollen types, over the period 1991-2015, was carried out by means of a regression study, as well as by the application of the Mann-Kendall statistical test.

The main pollen season (PPP) was determined according to the methodology proposed by Anderson (1991). The beginning of the PPP being established on the day in which the sum of the daily counts reaches or exceeds 2.5% of the annual total and, the end, on the day in which 97.5% of this total is reached or exceeded. So, the PPP includes 95% of the pollen grains registered throughout the year. In the cases in which the PPP does not correspond to the official year (January to December), the period from September to August of the following year was taken.

For studying the intradiurnal behaviour of the 13 most abundant pollen types in the atmosphere of Malaga, the cumulative percentage for every two hours was represented in the graphs.

To establish the possible relationships between the daily mean pollen concentrations and the different meteorological parameters, the Spearman correlation coefficients were calculated for the complete set of the PPPs of the period 1992-2015, as well as for the pre-peak and post-peak periods, separately.

For obtaining forecast models, step multiple regressions were carried out. The independent variables included were the different meteorological parameters as well as the pollen concentration of the previous day and the D-media (Recio *et al.*, 2002b), for the period 1992-2015. In order to validate

the models, the data of the year 2016 (not included in the models) were used, the averages of the series observed and expected being compared by means of the Wilcoxon test.

Meteorological data were provided by Malaga-airport station, located five kilometres south from the sampling site.

## 8.4. Results and discussion

### 8.4.1. Meteorological parameters trends

Regarding meteorological parameters, a considerable increase in temperatures has been observed in Malaga over the period 1991-2015, since the regression lines presented positive slopes and significant coefficients of determination (Fig. 4.1). Similar trends have been reported in most of the Mediterranean area (Cariñanos *et al.*, 2004; De Castro *et al.*, 2005; Fernández-González *et al.*, 2005; Damialis *et al.*, 2007, Jato *et al.*, 2009; García - Mozo *et al.*, 2011; Ghitarrini *et al.*, 2017), which suggests that we are facing a climate change scenario that is already having an impact in our area of study. Regarding precipitation, there was no trend in Malaga. According to Meehl *et al.* (2007), changes in rain patterns are less marked than in temperature, due to the complexity of the distribution of rain in space and time. Modifications have also been observed in wind direction distribution patterns.

### 8.4.2. Detection of pollen trends

In general, aerobiological studies focused on trend detections in long-term data series assume the normality of the pollen data (Frei, 1998; Clot, 2003; Tedeschini *et al.*, 2006), but this assumption is not valid for all the taxa and areas (Fernández-Llamazares *et al.*, 2014). For this reason, in addition to the classical linear regression analysis, which assumes this normality, we performed a non-parametric analysis, which does not require a particular distribution. In this sense, Önöz and Bayazit (2003) showed that non-parametric tests may have a substantially higher probability of correctly detect trends than a simple regression analysis. In our case, we used the Mann-Kendall test (Kendall, 1975) together with the Sen slope estimator (Sen, 1968).

When comparing the two tests, parametric and non-parametric, similar results were obtained regarding the sign (+,-). However, differences appeared regarding the magnitude. Similar results were obtained by Fernández-Llamazares *et al.* (2014), comparing parametric and non-parametric methods used to analyse the trends of different pollen types in Catalonia. These authors affirm that, with the exception of aerobiological data series that present a normal distribution, it would be convenient to apply non-parametric statistical methods for the detection of monotonic tendencies.

Actually, we have obtained very few significant results using both linear regression and Mann-Kendall test. The former cited authors explained that, in regions such as the ours, characterized by a great diversity of plants and micro climates, it is more difficult to obtain significant results than in areas with a more homogeneous aerobiological spectrum, which explains the rarely significant results found in the Iberian Peninsula, even when analyzing a long database and at different sampling points (Ziello *et al.*, 2012). This is why the influence of climate change on the dynamics of atmospheric pollen should be studied taking into account the characteristics of a given region or the type of plants to be included in the study.



### 8.4.3. Pollen concentration in the atmosphere of Malaga

In this work we studied the behaviour followed by the 36 pollen types whose pollen grains were regularly collected and identified in Malaga over a 24 years period (1992-2015). The taxa with the highest pollen atmospheric levels were, in abundance order, *Olea*, *Quercus*, Cupressaceae, *Platanus*, Poaceae, *Plantago*, *Rumex*, *Parietaria*, *Urtica membranacea*, *Pinus*, Myrtaceae, *Casuarina*, Chenopodiaceae-Amaranthaceae, which, all together, supposed a 93,29% overall pollen recorded (Table 4.10).

In the case of the most abundant pollen types, as well as the total pollen, we also analysed trends and intradiurnal distributions. It was observed that the inter-annual variations of the annual pollen index tended to show a biannual alternancy pattern (Fig. 4.13). One of the main causes of that alternancy during the years studied was the biannual pollen production presented by the most abundant pollen types, *Olea* and Cupressaceae. This behaviour has been reported in other nearby localities by Recio *et al.* (1996) and Docampo (2008). No clear pattern to increasing or decreasing the total pollen counts was detected in Malaga for the total pollen (Fig. 4.13). Similar behaviour has been found in different localities in Europe (Ziello *et al.*, 2012). This “no tendency” recorded may be due to the high number of airborne pollen types involved in the long-term database, in which each pollen type is composed by many species which may present a particular tendency in the area.

With regards to the arboreal pollen types, a tendency to increase the annual pollen index have been observed in *Olea*, *Quercus* and *Platanus*, whereas decreasing trends were found for *Casuarina*, *Pinus*, Cupressaceae and Myrtaceae. On the other hand, a general trend to diminish the annual pollen index was observed among the herbaceous group (Fig. 5.3) although, in a specific way, we found different patterns. Likewise, only *Urtica membranacea* showed a slight tendency of increase in pollen counts in the atmosphere of Malaga (Fig. 4.174) and *Parietaria* showed no clear pattern (Fig. 4.83), practically without tendency to increase or decrease. This behaviour leads us to suppose these plants are very adapted to the Mediterranean climate in spite of the inter-annual variations in the amounts of rain as well as in the number of rainy days.

However, weather condition are not, by themselves, sufficient to account for the changes observed in pollen indexes, other factors that are needed to take into account, to explain year-to-year changes and trends in pollen counts, are changes in land use and agriculture practices, e.g. for *Olea* (Orlandi *et al.*, 2010) and for urban ornamental trees, e.g. *Platanus* (Alcázar *et al.*, 2011).

### 8.4.4. Trends in the mian pollen season (PPP): onset, end, maximum peak and duration

Regarding the main pollen season (PPP) lasting, our data reflect a progressive increase in almost all the pollen types studied except in the case of Poaceae and *Parietaria*. These results are in accordance with those obtained by different authors in the Mediterranean area when analysing trends followed by different pollen types such as *Olea* (Galán *et al.*, 2005; Orlandi *et al.*, 2014; García-Mozo *et al.*, 2014), *Quercus* (García-Mozo *et al.*, 2006; Jato *et al.*, 2015), *Plantago* (Damialis *et al.*, 2007), Chenopodiaceae-Amaranthaceae (Cariñanos *et al.*, 2014) or Cupressaceae (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2003).

Pollen season patterns are influenced by environmental factors but the trends obtained can vary depending on the methodology used to calculate the PPP. Jato *et al.* (2006) reviewed the criteria used to

delimit the main pollen season; however, they did not recommend any particular way and concluded that the limits of the pollen season should be set in accordance with the aims of each analysis.

Regarding pollen season features obtained, we observed a general tendency to advance the onset of the main pollination period in some arboreal species such as *Casuarina*, Cupressaceae, Myrtaceae and *Olea*, while a slight tendency to delay was found for the pollen types *Pinus*, *Platanus* and *Quercus* (Table 5.1). However, in the case of the herbaceous species, a delay was observed for Chenopodiaceae-Amaranthaceae, *Parietaria* and Poaceae while an advancement was registered for *Plantago*, *Rumex* and *Urtica membranacea*. It is clear that the start date of the PPP, in our area, is strongly determined by the increase of temperatures detected during the months prior to the flowering period of the different species. In general, advancements in the start dates has been described in different areas of Europe by different authors in works studying a long data time series of more than 20 years, such as in Spain (Recio *et al.*, 2010; Tormo-Molina *et al.*, 2010; Velasco-Jiménez *et al.*, 2017), Switzerland (Clot, 2003) or Italy (Ghitarrini *et al.*, 2017). This phenomenon has been attributed to the global climate change that is causing an increase in temperatures, having an effect in the phenology of many taxa, putting forward the flowering season.

If we consider the dynamics of the end dates of the PPP, it appears that there is a clear pattern to the delayment in the cases of *Casuarina*, Cupressaceae, *Olea*, *Pinus*, *Plantago*, *Platanus*, *Quercus*, *Rumex* and *Urtica membranacea* while an advance was observed only in the case of *Parietaria* and Poaceae (Table 5.1). Nevertheless, the general behaviour showed slight tendencies, when the values of Sen's slope are observed. No trends were detected for advance or delay in the case of Chenopodiaceae-Amaranthaceae and Myrtaceae.

In the case of the maximum pollen peak, the date in which it occurs is being reached later and later for almost all the pollen types studied except in the case of Myrtaceae, *Pinus*, Poaceae and *Rumex*, while the tendency of the concentrations reached vary from one pollen type to another. This effect suggests that some taxa maybe more tolerant to the significant increase in the temperatures recorded in Malaga during the studied period. However, it should be noted that *Olea* and *Quercus* showed the highest degree of stability in terms of maximum daily mean concentration and the rhythm of peak dates in the atmosphere of Malaga during the studied period (Fig. 4.75). Probably, these species, typically Mediterranean, could displayed a greater resilience to the impact of climate change.

#### 8.4.5. Correlation with meteorological parameters

The correlations obtained between the daily mean pollen concentrations and the different meteorological parameters showed, in general, a very similar behaviour for the different pollen types. The most significant values were obtained, in positive, with the mean, maximum and minimum temperatures during the pre-peak period, as well as with the wind speed and winds blowing from 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> quadrant during the main pollen season (PPP). On the contrary, the correlation coefficients were significant but negatives in the case of the mean, maximum and minimum temperatures during the post-peak, as well as with the winds blowing from the 2<sup>nd</sup> quadrant and relative humidity, during the PPP.

The behaviour observed regarding temperature, precipitation and relative humidity were similar to the previously described by different authors for other localities with Mediterranean climate (Domínguez Vilches *et al.*, 1993; Galán *et al.*, 1995; Sánchez Mesa *et al.*, 2003). On the other hand, the

correlations obtained with wind directions showed the typical features of a coastal locality, with negative coefficient values for winds blowing from the sea, and positive values in the case of winds that blow from inland (Trigo *et al.*, 1996; Recio *et al.*, 1996; Recio *et al.*, 2009).

#### 8.4.6. Intradivurnal variations

The intradiurnal variations were studied for the 13 most relevant pollen types, in terms of abundance, in the atmosphere of Malaga. In general, it was observed that each pollen type showed a different behaviour that remained stable during the years studied. However, the results obtained are similar to the previous studies carried out in the same locality (Trigo *et al.*, 1997; Melgar, 2010). In Malaga, most pollen types presented their maximum levels at midday, when the highest temperatures and the lowest relative humidity are registered, which stimulates anther dehiscence (Kapyla, 1984). However, in the case of *Olea* and *Quercus*, the highest concentrations are observed at midnight, probably due to long-distance transport from inland areas, favoured by land-breeze effect.

When observing the intradiurnal behaviour year after year, some differences have been observed regarding peak intensity, especially in the case of *Pinus* (Fig. 4.105), *Olea* (Fig. 4.79) and *Urtica membranacea* (Fig. 4.183). These fluctuations can be a consequence of the interannual variations of the meteorological parameters that favour, to a greater or lesser extent, anther dehiscence, transport and pollen buoyancy in the atmosphere.

#### 8.4.7. Forecast models and validation

The forecast models obtained for the daily mean pollen concentration during the pre-peak period in the city of Malaga indicated that both, daily average pollen concentration for the same date (D-media) and 1-day-before pollen concentration, together with maximum temperature, are the more useful predicting variables for forecasting the variability of pollen in the air, in general. This was reflected by the mathematical models (regression equations) that offered the best results, with highly significant values of the determination coefficients in all the pollen types studied. In general, we obtained models with low values of regression coefficients, but this is probably due to the amount of data analysed.

In the graphics, it can be appreciated that both forecasted and observed data generally presented a similar behaviour, with positive and highly significant Spearman's correlation coefficients between both series. The Wilcoxon test corroborated that there were no significant differences between the series compared, verifying that the regression models selected were valid for predicting the airborne pollen concentrations in the case of *Quercus*, Poaceae, *Plantago*, *Parietaria*, Cupressaceae y *Casuarina*. However, significant differences were found for the rest of the pollen types, which, finally, led us to reject these regression models.

#### 8.4.8. Pollen calendar

The pollen calendar elaborated for Malaga, based on the data obtained during 24 years (1992-2015) of study (Fig. 4.289), resulted very similar to those carried out by Recio *et al.* (1998) for the same locality during the period 1991-1995 and by Melgar (2010) during the period 2004-2006, regarding the seasonality of the most representative pollen types. Moreover, this pollen calendar was similar too to the carried out by Docampo *et al.* (2007), Recio *et al.* (2006) and Trigo *et al.* (2007) for nearby towns

such as Nerja, Estepona or Vélez-Málaga, respectively. In addition, this calendar was alike to those obtained in others localities of southern Spain, such as Granada (Alba, 1997), Jaén (Ruiz *et al.*, 2002) or Almeria (Sabariego, 2003). This leads us to suggest that a calendar carried out after three or four years of sampling could be adequate for characterizing the dynamics of the airborne pollen in a given area.

The pollen calendar of Malaga presents features of a typical Mediterranean city, with pollen present throughout the year, long tails, early seasons, and in which the surrounding anemophilous vegetation is well represented.

#### **8.4.9. Levels of allergenic pollens**

In this thesis, based on the groups and categories established by the Spanish Aerobiology Network (REA) (Galán *et al.*, 2007), we have evaluated the evolution of the pollen levels, for the principal pollen types susceptible to cause allergy in the local population (Table 5.2). These levels (null, low, moderate, high) represent the pollen-count threshold required for a certain percentage of the sensitive population develops symptoms associated with the presence of these pollen grains in the air. Positive trends has been observed in the case of the woody plants, as well as in the herbaceous group in levels 2 (low) and 3 (moderate). On the other hand, in the case of woody plants, a statistically significant decreasing was obtained regarding level 1 (null), except in the case of Myrtaceae. However, positive trends appeared, leading to a rise in level 4 (high), in the case of *Olea*, *Quercus*, *Parietaria* and *Poaceae*. So, the results obtained, regarding the dynamics of the levels reached by the different pollen types, can be an useful information for both physicians and allergy sufferers in order to better plan treatments and manage allergy diseases in a global climate change scenario.

#### **8.4.10. Comparison of Methodologies REA/RIMA**

In order to study the trends followed by the different pollen types during a long period of time and relate them with global climate change, it is important to compare the results obtained with those of other aerobiological stations. Besides the REA, the most important aerobiology network in the Mediterranean area, is the RIMA (Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia). The methodology followed by both networks is similar but the way in which they make the counts of pollen it is not exactly the same. They vary in the number of sweeps read per slide. This is why a comparative study was performed (Anexo 2).

For the statistical analysis, daily mean pollen concentrations of each taxon were used, as well as the total pollen counts for 40 samplings corresponding to different seasons of the year 2015. Only the pollen types observed during the two-counting method, with daily mean pollen concentrations greater or equal to  $1 \text{ grain/m}^3$ , would be considered. Data normality was evaluated by the Shapiro–Wilk test (W). Since the data did not adjust to normal distributions, non-parametric statistic tests were applied. To evaluate the relationships between the results obtained by the two counting methods, Spearman's correlation coefficients were calculated, while Wilcoxon test was used in order to search whether or not differences observed were significant. Additionally, regression analyses were also carried out.

In general, we have observed a high degree of similarity between the two series of data studied, with highly significant Spearman's correlation coefficients and regression coefficients with positive

slope and also significant values for all the taxa, as well as for the seasonal periods. However, these results were not always followed by the Wilcoxon tests and, although they showed no significant differences for total pollen and for the more abundant taxa (Cupressaceae and Urticaceae), there were other minority pollen types for which significant differences appeared. If we compare the results obtained by using the two methods, reading 4 or 6 sweeps, we can observe how there is an increased number of cases in which we obtained higher values by reading 4 sweeps (REA method). This could be due to the correction factor, which is greater the smaller the number of sweeps.



## Anexo 2. Comparison between the counting methods used by two aerobiology networks in southern Europe (Spain and Italy).

Aerobiologia (2017) 33:87–92  
DOI 10.1007/s10453-016-9452-4



ORIGINAL PAPER

# Comparison between the counting methods used by two aerobiology networks in southern Europe (Spain and Italy)

D. Gharbi · M. A. Brighetti · A. Travaglini · M. M. Trigo

Received: 5 May 2016 / Accepted: 30 August 2016 / Published online: 7 September 2016  
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2016

**Abstract** Aerobiology studies the biological particles suspended in the atmosphere in order to know what types are present in the air and how their concentrations vary spatially or seasonally. The measurement of airborne pollen concentration requires a standardized methodology. Normally, the analysis of the slides obtained after samplings is carried out according to national network procedures. Different networks use different slide counting methods (longitudinal sweeps, transverse sweeps or random fields), and a different number of lines/fields are routinely read. In this study, we compared two slide counting methods adopted by two monitoring centres belonging to different aerobiology networks that operate in southern Europe, the University of Malaga (Spanish Aerobiology Network, the REA) and the University of Roma Tor Vergata (Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia, the RIMA). For that, the same samples were counted following the two methodologies consisting on the reading of four (REA) and six (RIMA), respectively, longitudinal sweeps at a magnification of 400X (REA). Statistical analysis was performed in

order to search the degree of association between the two series of data obtained, as well as whether or not there were significant differences between them. The results showed highly significant correlation and regression coefficients. On the other hand, Wilcoxon tests, in general, did not showed significant differences between the series for the total pollen as well as for the major pollen types. This confirms that the two methods can be used indistinctly although it would be convenient for the different networks to standardize and unify methodologies in order to follow the same operating procedures.

**Keywords** Aerobiological monitoring · Counting methods · Pollen counts · Statistical analysis

## 1 Introduction

Aerobiology is the science that studies the biological particles present in the air, their atmospheric dispersion and their impact on both environment and organisms. Moreover, the main purpose for aerobiology is to measure and report the quantities of airborne pollen present in the atmosphere. Currently, many aerobiological monitoring networks are using Hirst-type volumetric pollen traps (Hirst 1952). Despite this, the different networks adopt different protocols to estimate the atmospheric pollen concentration. So, the slide reading methodology (longitudinal or transverse

M. A. Brighetti · A. Travaglini  
Dipartimento di Biologia, Università di Roma  
Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, 00133 Rome,  
Italy

D. Gharbi · M. M. Trigo (✉)  
Departamento de Biología Vegetal, Universidad  
de Málaga, PO Box 59, 29080 Málaga, Spain  
e-mail: aerox@uma.es

sweeps, or random fields) and the number of lines/fields counted can differ from one to another. The International Association for Aerobiology suggests following a standardized methodology based on the minimum requirements: reading of 3 longitudinal sweeps at a magnification of 400X or, at least, 12 vertical sweeps per slide (Jäger et al. 1995). In fact, the measurement of the pollen atmospheric concentrations is just an approximation of the real value (Comtois et al. 1999), and it may be subject to diverse errors during the different operational phases (Mandrioli 2000), such as errors due to the instruments, to preparation of samples, errors carried out during the identification of particles, or in the calculation of the atmospheric concentration.

In this study, we compare the results obtained by using two different counting methods, adopted by two monitoring centres, belonging to different aerobiology networks that operate in southern Europe, the University of Malaga (Spanish Aerobiology Network, the REA) and the University of Roma Tor Vergata (Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia, the RIMA).

The purpose of this study is to search whether or not the different methods of counting, with different sampling surfaces observed, can be cause of significant differences in the results obtained, once all of the other factors have been controlled by using standard procedures.

## 2 Materials and methods

The study was carried out at the laboratory of the Department of Biology of the University of Roma *Tor Vergata*, Italy. The samples were obtained by using a Hirst volumetric pollen trap (Hirst 1952), model 2000 VPPS Lanzoni, placed on the roof of the Faculty of Science at a height of 15 m above ground level.

A total of 40 slides, corresponding to 40 sampling days of the year 2015, were examined. The slides used were randomly selected among the four seasons, in periods of 10 consecutive days: winter (February 04–13), spring (April 02–11), summer (September 07–16) and autumn (October 26–November 04). The slides were observed under a light microscope Nikon Eclipse 200 at a magnification of X400. Pollen types were identified following the recent works published

in Italy (Travaglini et al. 2014), and the counts were expressed as number of pollen grains/m<sup>3</sup> of air (Mandrioli 1996).

Pollen counting was made by using two different methods. The first one was followed by the Spanish Aerobiology Network (REA) (Galán et al. 2007), while the second one was adopted by the Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia, RIMA, (Mandrioli 1994; UNI 2004; Travaglini et al. 2009).

The Spanish Aerobiology Network (REA) requires that the area analysed represents at least 10 % of the whole slide (according to European Aeroallergen Network rules), the counting method consisting in reading 4 continuous horizontal sweeps per slide at a magnification of 40×. The 4 horizontal sweeps are marked by the technician with dots and distributed in the slide, with at least 1 mm of distance from the edge of the impacted surface (Galán et al. 2007).

However, the Italian standard methodology requires that the minimum number of horizontal sweeps must correspond to an area close to 20 % of the impacted surface (UNI 2004). In this case, the method consists in the reading of 6 horizontal sweeps per slide at a magnification of 400×, the sweeps spaced 2 mm from each other as well as from the edge of the sampling surface (UNI 2004; Travaglini et al. 2009).

For the statistical analysis, daily mean pollen concentrations of each taxon were used, as well as the total pollen counts for the entire period (40 days). Only pollen types observed during the two counting method, with daily mean pollen concentrations  $\geq 1$  grain/m<sup>3</sup>, would be considered.

Data normality was evaluated by the Shapiro–Wilk test (W). Since the data did not adjust to normal distributions, nonparametric statistic tests were applied. To evaluate the relationships between the results obtained by the two counting methods, Spearman's correlation coefficients were calculated, while Wilcoxon test was used in order to search whether or not differences observed were significant. Additionally, regression analyses were also carried out. The statistical software package used was IBM SPSS 21.0.

## 3 Results

During this study, the most abundant pollen types found in the atmosphere of Rome for the days studied were

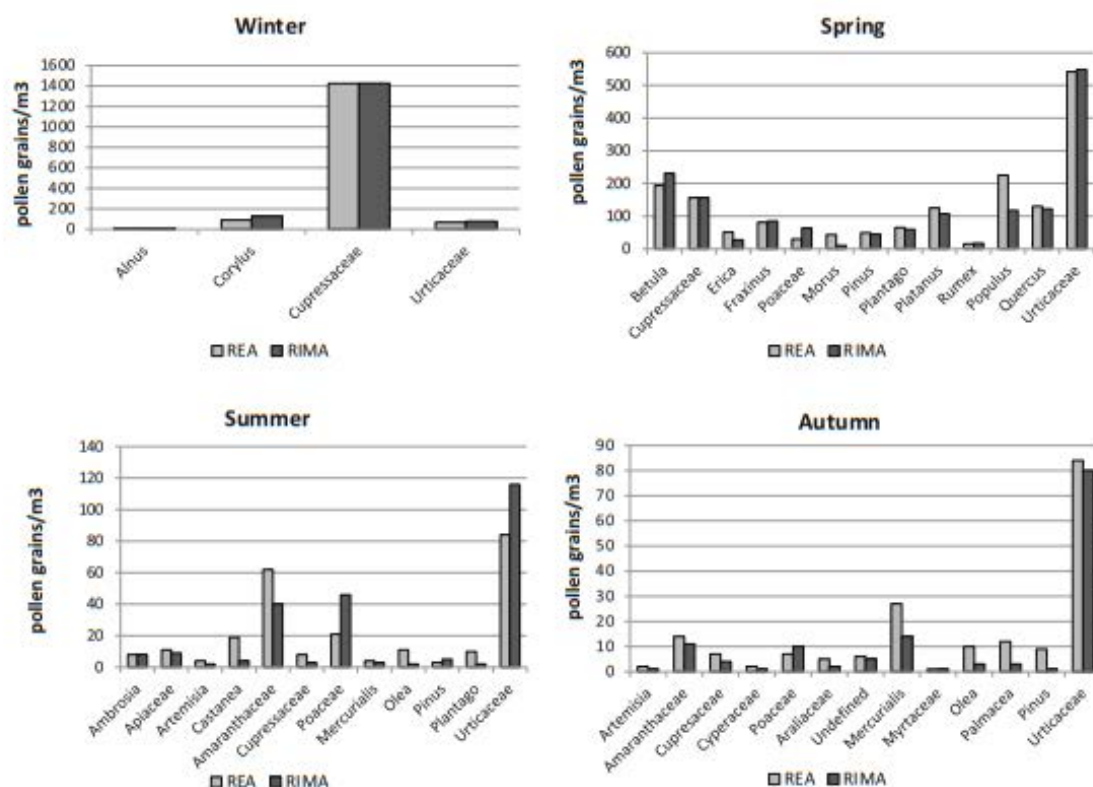


*Corylus*, *Urticaceae* and, especially, *Cupressaceae* in winter. In spring, many pollen types entered to form part of the atmospheric spectrum, especially those coming from arboreal species, such as *Betulaceae*, *Cupressaceae*, *Fraxinus*, *Morus*, *Pinus*, *Platanus*, *Populus* and *Quercus*. However, *Urticaceae* was the type with a highest amount of pollen during the days selected for the study. In summer, the pollen types from herbaceous plants are the most abundant, mainly *Urticaceae* and *Amaranthaceae*. In autumn, the concentrations are very low, with only 3 pollen types exceeding the sum of 10 pollen grains/m<sup>3</sup> during the period studied: *Urticaceae*, *Mercurialis* and *Amaranthaceae* (Fig. 1).

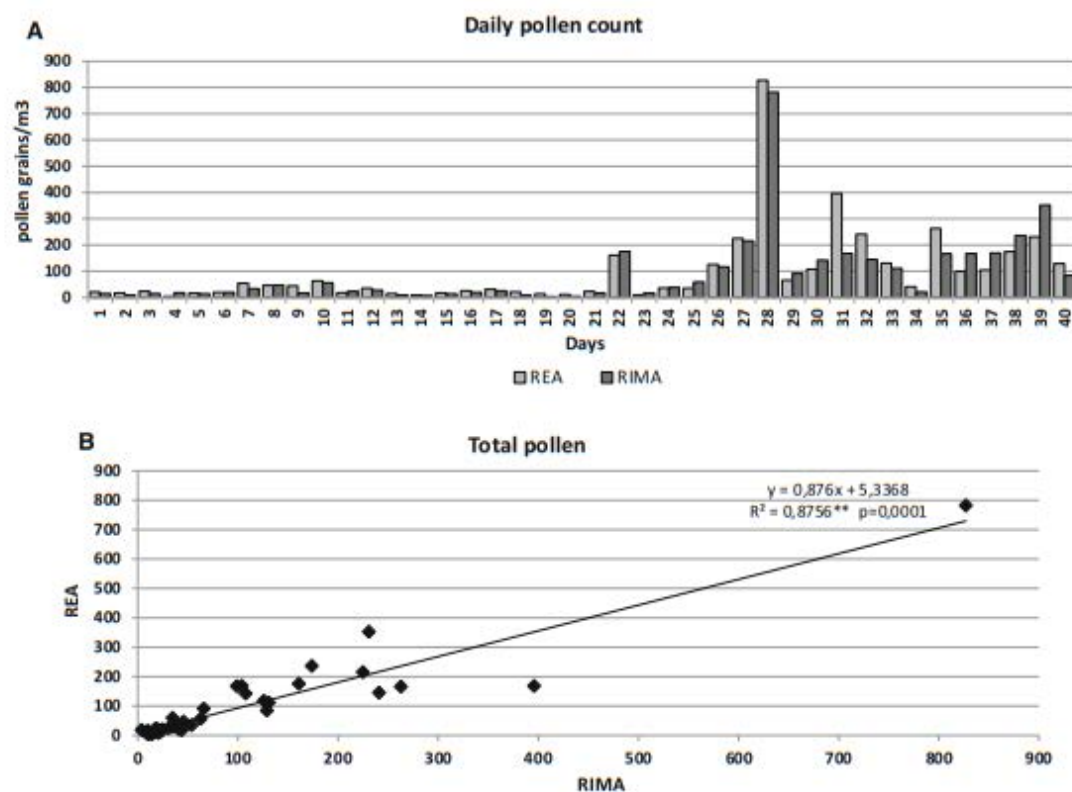
In Fig. 1 is shown how pollen counts for the different taxa, according to the different counting methods, yielded similar results. The same occurred when all the daily pollen counts were taken as a whole (Fig. 2). In Table 1, the results of the statistical

analysis are given. Spearman's correlation tests carried out between the daily pollen means values of the two series (REA and RIMA) for the four seasons showed positive and highly significant coefficients in all cases. A similar behaviour presented the results of the regression analysis, with high coefficients and positive slopes.

Regarding Wilcoxon tests, significant differences can be observed for the data grouped by seasons, specifically in spring and autumn. Additionally, we applied the same test to the data obtained for the different pollen types when they appeared in two or more seasons, and therefore, we had 20 or more data for running the statistical analysis (Table 2). In this case, only for *Cupressaceae* and *Urticaceae*, the most abundant pollen types, as well as for *Pinus* and *Plantago*, we did not obtain significant differences, at



**Fig. 1** Levels reached by the pollen types recorded in the days of study for the four seasons of the year, using the methodology proposed by the two aerobiology networks (REA and RIMA)



**Fig. 2** Comparison of daily total pollen between REA and RIMA methodologies during the 4 studied periods of 10 days. **a** Daily mean concentrations **b** regression line

**Table 1** Results of the statistical analysis carried out between the pollen concentrations estimated by the two counting methods for the different seasons, as well as the total period

| REA vs RIMA              | Spearman's test |          | Regression analysis |          |                       | Wilcoxon's test |          |
|--------------------------|-----------------|----------|---------------------|----------|-----------------------|-----------------|----------|
|                          | <i>r</i>        | <i>p</i> | <i>a</i>            | <i>b</i> | <i>R</i> <sup>2</sup> | <i>Z</i>        | <i>p</i> |
| Winter ( <i>n</i> = 50)  | 0.919           | 0        | 1.000               | 6.893    | 0.876                 | −0.969          | 0.332    |
| Spring ( <i>n</i> = 140) | 0.728           | 0        | 0.760               | 4.131    | 0.587                 | −2.214          | 0.027    |
| Summer ( <i>n</i> = 120) | 0.609           | 0        | 0.867               | 0.229    | 0.649                 | −1.314          | 0.189    |
| Autumn ( <i>n</i> = 140) | 0.665           | 0        | 0.930               | −0.294   | 0.771                 | −4.519          | 0.000    |
| Total ( <i>n</i> = 450)  | 0.773           | 0.000    | 1.031               | −0.018   | 0.960                 | −0.847          | 0.397    |

a significance level of 95 % ( $P \leq 0.05$ ). Nor we found significant differences regarding total pollen.

#### 4 Discussion

Partial reading is a method followed by all the aerobiology networks for estimating the amounts of pollen grains contained in the whole sample, by means of a

correction factor whose value is determined by the surface observed. This procedure allows the aerobiologists to save time and, therefore, release their results in a time record. The problem is to establish the extension of the surface to observe, a balance between observed and estimated data. Obviously, the larger the surface observed, the smaller the error made. This error depends also on the density of the sample (Gottardini et al. 2009; Micheli et al. 2009); low pollen concentration

Springer

**Table 2** Results of statistical analysis carried out between the series obtained for the different pollen types, as well as the total period

| Pollen types                   | Spearman's test |          | Wilcoxon's test |          |
|--------------------------------|-----------------|----------|-----------------|----------|
|                                | <i>r</i>        | <i>p</i> | <i>Z</i>        | <i>p</i> |
| Amaranthaceae ( <i>n</i> = 20) | 0.658           | 0.002    | -2.193          | 0.028    |
| Artemisia ( <i>n</i> = 20)     | 0.675           | 0.001    | -2.388          | 0.017    |
| Cupressaceae ( <i>n</i> = 40)  | 0.958           | 0.000    | -0.24           | 0.81     |
| Mercurialis ( <i>n</i> = 20)   | 0.675           | 0.001    | -2.388          | 0.017    |
| Olea ( <i>n</i> = 20)          | 0.454           | 0.045    | -3.358          | 0.001    |
| Pinus ( <i>n</i> = 30)         | 0.543           | 0.002    | -1.271          | 0.204    |
| Plantago ( <i>n</i> = 20)      | 0.669           | 0.001    | -1.175          | 0.24     |
| Poaceae ( <i>n</i> = 30)       | 0.539           | 0.002    | -3.001          | 0.003    |
| Urticaceae ( <i>n</i> = 40)    | 0.847           | 0.000    | -0.792          | 0.428    |
| Total ( <i>n</i> = 240)        | 0.794           | 0.000    | -0.819          | 0.413    |

determines a greater error (Gottardini et al. 2009; Onorari et al. 2007; Cariñanos et al. 2000; Käpyla and Penttinen 1981).

In Italy, some authors state that readings of 20 % of the total sampling surface widely ensure significant measurements (Felicori et al. 2012), this being the methodology followed by the RIMA. Nevertheless, other authors estimate a degree of uncertainty, with an error rate ranging from 7 to 52 % (Gottardini et al. 2009). On the other hand, the Spanish aerobiology network, the REA, considers that by reading a 12 % of the total sample the error is assumable, with a variation coefficient around 10 % (Galán et al. 2007; Oteros et al. 2013). Anyway, bias not only arises from the counting methods used. In fact, it can be linked with other methodological issues, such as operational and technician errors or those due to a bad identification or, even, to random distribution of the pollen grains (Comtois and Mandrioli 1997; Comtois et al. 1999; Galán and Domínguez Vilchez 1997).

The methodologies used by both networks, the Spanish and the Italian, for counting the pollen grains present a high degree of similarity, and they are coherent with the minimum recommendations proposed by the European Aerobiology Society: at least 10 % of the slide should be read (Galán et al. 2014).

In general, we have observed a high degree of similarity between the two series of data studied, with Spearman's correlation coefficients highly significant and regression coefficients with positive slope and also significant values for all the taxa, as well as for the

seasonal periods (Tables 1 and 2). However, these results were not always followed by the Wilcoxon tests and, although they showed no significant differences for total pollen and for the more abundant taxa (*Cupressaceae* and *Urticaceae*), there were other minority pollen types for which significant differences appeared. They were pollen types that hardly reached values of 50 as sum of the daily mean concentrations for the period considered. In fact, 11 of 14 taxa considered showed lower values than 15 grains/m<sup>3</sup>. Regarding this, Käpyla and Penttinen (1981) considered that the amount of particles observed in longitudinal sweeps should be about 50 or more for reliable estimation of the short-term concentrations.

If we compare the results obtained by using the two methods, reading 4 or 6 sweeps, we can observe how there is an increased number of cases in which we obtained higher values by reading 4 sweeps (REA method). This could be due to the correction factor, which is greater the smaller the number of sweeps (Figs. 1, 2).

In our opinion, we can conclude that the results obtained are quite similar and both methods can be used indistinctly. Accuracy is important but also is important to release the results as soon as possible, and the difference in the time spent in counting the pollen content in the samples by reading 4 or 6 sweeps can be considerable. On the other hand, due to the number of national networks of aerobiology is growing, it is necessary to standardize the techniques of sampling and analysis of biological particles in order to apply the same methodology and the same operating procedures (Thibaudon et al. 2014). In fact, an agreement about the methodology in use is especially important for ensuring the quality and comparability of the results obtained by the different aerobiology stations (Zieger 2007).

## References

- Cariñanos, P., Emberlin, J., Galán, C., & Domínguez-Vilches, E. (2000). Comparison of two pollen counting methods of slides from a hisrt type volumetric trap. *Aerobiologia*, 16, 339–346.
- Comtois, P., Alcázar, P., & Neron, D. (1999). Pollen count statistics and its relevance to precision. *Aerobiologia*, 15, 19–28.
- Comtois, P., & Mandrioli, P. (1997). Pollen capture media: a comparative study. *Aerobiologia*, 13, 149–154.

- Felicori, M., Bordignon, G., & Billi, B. M. (2012). Migliora la qualità del monitoraggio aerobiologico. *Ecoscienza*, 2, 76–77.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., & Domínguez-Vilches, E. (2007). *Spanish Aerobiology Network (REA): Management and quality manual*. Córdoba: Servicio de publicaciones, Universidad de Córdoba.
- Galán, C., & Domínguez-Vilches, E. (1997). The capture media in aerobiological sampling. *Aerobiologia*, 13, 155–160.
- 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.
- Gottardini, E., Cristofolini, F., Cristofori, A., Vannini, A., & Ferretti, M. (2009). Sampling bias and sampling errors in pollen counting in aerobiological monitoring in Italy. *Journal of Environmental Monitoring*, 11, 751–755.
- Hirst, J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39, 257–265.
- Jäger, S., Mandrioli, P., Spieksma, F., Emberlin, J., Hjelmroos, M., Rantio-Lehtimäki, A., et al. (1995). News. *Aerobiologia*, 11, 69–70.
- Käpylä, M., & Penttinen, A. (1981). An evaluation of the microscopical counting methods of the tape in Hirst-Burkard pollen and spore trap. *Grana*, 20, 131–141.
- Mandrioli, P. (1994). Metodica di campionamento e conteggio dei granuli pollinici e delle spore fungine aerodisperse. Monitoraggio aerobiologico in Emilia Romagna. *Collana Prevenzione nei luoghi di vita e di lavoro. Contributi (Biblioteca Antonio Panizzi)*, 30, 9–19.
- Mandrioli, P. (1996). Il monitoraggio aerobiologico: linee guida per una standardizzazione. *Atti del 15° Congresso Nazionale AIDII*, Collane della Fondazione Maugeri, I Documenti n.6, pp 30–41.
- Mandrioli, P. (2000). Metodo di campionamento e conteggio dei granuli pollinici e delle spore fungine aerodisperse. Progetto di norma proposto alla Commissione Ambiente UNI dal Dr. Paolo Mandrioli codice progetto ufficiale U53000810. *Consiglio Nazionale delle Ricerche—Istituto di Scienze dell'Atmosfera e dell'Oceano*.
- Micheli, V., Brighetti, M. A., Capucci, E., & Travaglini, A. (2009). Osservazioni sulla superficie minima di lettura nel campionamento aerobiologico. *A.I.A. Atti del XII Congresso Nazionale "Salute dell'ambiente salute dell'uomo"*. Firenze 7-9 maggio 2009.
- Onorari, M., Domeneghetti, M. P., & Begliomini, V. (2007). Metodo UNI 11108:2004—Percorso per l'accreditamento. *Gea*, 3, 33–34.
- Oteros, J., Galán, C., Alcázar, P., & Domínguez-Vilches, E. (2013). Quality control in bio-monitoring networks, Spanish Aerobiology Network. *Science of the Total Environment*, 443, 559–565.
- Thibaudon, M., Monnier, S., & Berger, U. (2014). Standardization of Hirst method for airborne pollen and fungal spores measurements. "Meeting of the European Aeroallergen Network and the European Aerobiology Society". Vienna; p. 47.
- Travaglini, A., Albertini, R., & Zieger, E. (2009). Manuale di gestione e qualità della Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia R.I.M.A.<sup>®</sup>. Tipografia LEGO, Bologna, p.147.
- Travaglini, A., Brighetti, M.A., Arseni, A., & Vinciguerra, F. (2014). Atlante del polline delle principali specie allergeniche d'Italia. Il raggio verde edizioni. ISBN: 978-88-89663-79-0.
- UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione. (2004). Qualità dell'Aria metodo di campionamento e Conteggio dei granuli pollinici e delle spore fungine aerodisperse. *Classificazione ICS*, 13(040), 20.
- Zieger, E. (2007). Linee guida e accreditamento in Aerobiologia. *Gea*, 3(1), 32–33.

**Anexo 3. Abreviaturas empleadas**

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

cm: centímetros

Cv: coeficiente de variación

Desv. Típica: desviación típica

D-med: Date-media

EAN: European Aeroallergen Network

EPI: European Pollen Information

Fc: Factor de corrección

Fig.: Figura

g.p.: grano (s) de polen

H.R: humedad relative

H.S: horas de sol

h: horas

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

H<sub>a</sub>: Hipótesis alternativa

IAA: International Association for Aerobiology

IDI: índice de Distribución Intradía

IP: índice Polínico (durante PPP)

IPA: índice Polínico anual

IPB: Programa Internacional de Biología

l/min: litro por minuto

l: litro

MK: Mann Kendall

mm/h: milímetros por hora

mm: milímetros

NAO: North Atlantic Oscillation

p : probabilidad de significación

PPP: periodo de polinación principal

Precip: Precipitación

Q: estadístico de la pendiente de Sen

r: Coeficiente de correlación (de Spearman)

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

REA: Red Española de Aerobiología

RIMA: Rete Italiana di Monitoraggio Aerobiologico

T<sup>a</sup> : temperatura

T<sup>a</sup> med: temperatura media

T<sup>a</sup> min: temperatura mínima

T<sup>a</sup> max: temperatura máxima

Vel. Med. Vt: velocidad media del viento

Vto: viento

Z: Estadístico de Wilcoxon

Sig.: Significación

%: porcentaje

\*\*\* Correlación significativa al nivel  $p \leq 0,001$

\*\* Correlación significativa al nivel  $p < 0,01$

\* Correlación significativa al nivel  $p < 0,05$

°C: grados Celsius

1°C, 2°C, 3°C, 4°C: cuadrantes de vientos (NE, SE, SO, NO)