

CLIMATOLOGÍA DE LLUVIAS DE BARRO EN ESPAÑA

Luis María BAÑÓN PEREGRÍN¹, Álvaro SÁNCHEZ FONSECA²

¹*Delegación Territorial en la Región de Murcia. AEMET.*

²*Grado en Física. Universidad de Murcia.*

LBanonP@Aemet.es, nuvole.fonseca@gmail.com

RESUMEN

La principal fuente de aerosoles minerales atmosféricos son los desiertos del norte de África. Con frecuencia, enormes parcelas de aire cargadas de dichos aerosoles se extienden sobre España. En ocasiones, estas intrusiones vienen acompañadas de precipitación, que toma el aspecto de lluvia de barro. En una sociedad de creciente complejidad, son cada vez más los sectores económicos y sociales que se ven afectados por este fenómeno: agricultura, industria fotovoltaica, etc. Disponer de información sobre su ocurrencia y distribución puede resultar de utilidad. En el afán de elaborar una climatología de las lluvias de barro en España, se han combinado los datos de precipitación observada en estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET, con los valores de espesor óptico de aerosoles, EOA, sobre esas estaciones, tanto los reanalizados por el *Monitoring Atmospheric Composition an Climate*, MACC del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*, ECMWF, entre 2003 y 2012, como los previstos por el *Copernicus Atmosphere Monitoring Service*, CAMS, del ECMWF, entre 2013 y 2017. Para calibrar el método y seleccionar el umbral de EOA que, combinado con precipitación, hace que estas sean de barro, se han utilizado los datos de la campaña de observación de lluvias de barro llevada a cabo desde el observatorio meteorológico de Murcia de AEMET entre 2016 y 2017. Los resultados muestran valores del número medio de días al año con lluvia de barro que oscilan entre 10 o más al este del arco Melilla-Murcia-Baleares, hasta 2 en zonas de Castilla León, Galicia, y gran parte de Canarias. En el conjunto de la España peninsular, Baleares y Melilla, el mes de mayo es de mayor frecuencia de lluvias de barro, mientras que en Canarias son agosto y septiembre.

Palabras clave: lluvia de barro, aerosol mineral, MACC, CAMS, EOA.

ABSTRACT

The main sources of atmospheric mineral aerosols are the deserts of North Africa. Frequently, huge air parcels loaded with such aerosols spread over Spain. Sometimes, these intrusions are accompanied by precipitation that takes on the appearance of mud, dust or red rain. In a society of increasing complexity, more and more economic and social sectors are affected by this phenomenon: agriculture, photovoltaic industry, etc. and it can be useful to have information about its occurrence. In order to carry out a climatological study of mud rains in Spain, the precipitation data observed in AEMET stations has been combined with the aerosol optical depth, AOD, on those stations. For the study it has used a combination of the *Monitoring Atmospheric Composition*

and Climate model, MACC, of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF, between 2003 and 2012, and related data forecasted by the Copernicus Atmosphere Monitoring Service model, CAMS, of the ECMWF, between 2013 and 2017. To calibrate the method and select the AOD threshold which, combined with precipitation, makes them mud, the data of the campaign of observation of mud rains in the meteorological observatory of Murcia of AEMET between 2016 and 2017 has been used. The results show values of the average number of days per year with mud rain that varies from 10 or more to the east of the arc Melilla-Murcia-Balearic islands to 2 in areas of Castilla León, Galicia, and a large part of Canary islands. In the whole of peninsular Spain, Balearic islands and Melilla, the most frequent month of mud rains are May while in the Canary islands are August and September.

Key words: mud rain, red rain, dust rain, mineral aerosol, MACC, CAMS, AOD.

1. INTRODUCCIÓN

Las lluvias de barro son precipitaciones acompañadas de aerosoles minerales. Los aerosoles son partículas microscópicas en estado líquido o sólido que entran en la atmósfera y pueden tener un origen natural o antropogénico (Boucher, 2015). Los aerosoles que provocan la lluvia de barro son los de origen mineral, más concretamente los procedentes del desierto del Sahara, que son capaces de viajar miles de kilómetros, pudiendo ser detectados en lugares tan lejanos de su origen como el norte de Europa o el Amazonas (Quereda Sala & Olcina Cantos, 1994). El tamaño de estos aerosoles puede variar entre diámetros inferiores a 1 μm , hasta superiores a 10 μm , llegando a alcanzar los 250 μm en algunos casos (Fiol et al., 2005).

Las lluvias de barro son, en España y en otros países del área mediterránea, un fenómeno conocido cuyos efectos más inmediatos son pequeños depósitos de barro en tonos ocres o marrones que quedan sobre las superficies al evaporarse el agua, resultando frecuentemente muy visibles (Martín et al., 1985). Este tipo de lluvias aparecen cuando las gotas de agua arrastran a su paso los aerosoles minerales presentes en niveles medios y bajos de la troposfera (Jansa, 1968).

Este estudio es el resultado de la necesidad de un usuario de AEMET, una compañía de seguros agrícolas, de conocer los valores medios de episodios de lluvias de barro, y así valorar el precio de los seguros ante este tipo de eventos. Sin embargo, y ante una sociedad en creciente vulnerabilidad, son cada vez más los sectores de la sociedad que ven alterada su actividad por la presencia de las lluvias de barro.

A raíz de citada petición, en mayo de 2016, el personal del observatorio meteorológico de AEMET en Murcia comenzó la observación sistemática de las lluvias de barro, así como de los depósitos secos de polvo de origen sahariano. Para ello, se dispuso una plataforma en la azotea del observatorio, para minimizar el depósito de polvo local, y se estableció, con la colaboración del personal de la Delegación, un protocolo de vigilancia y detección.

Este trabajo presenta una climatología del número medio al año de días de lluvia de barro en el período 2003 a 2017, y es continuación del trabajo previo “Lluvias de barro en Murcia” (Pardo et al., 2017).

2. MÉTODOS

El método usado para la elaboración de la climatología de lluvias de barro supone que éstas se producen cuando concurren precipitaciones y aerosoles minerales.

Para determinar la presencia de precipitaciones se acudió a los registros de acumulación diaria en 54 estaciones meteorológicas de la red de AEMET, 7 de ellas en las islas Canarias. Para la selección de estaciones se exigió que la serie de datos entre 2013 y 2017 estuviera completa al 99.75 %, y que, en conjunto, ofrecieran una representación espacial homogénea del territorio.

La presencia de aerosoles minerales sobre esas 54 estaciones se determinó en base a los datos relativos a esta variable reanalizados por el modelo MACC del ECMWF, entre los años 2003 y 2012, y los datos previstos por el modelo CAMS del ECMWF, entre 2013 y 2017. La larga serie de datos reanalizados fue clave para la elección de estos modelos en la elaboración de la climatología de lluvias de barro. De entre las variables ofrecidas por los modelos, relativas a la presencia en la atmósfera de aerosoles, se eligió el espesor óptico de aerosoles a 550 nanómetros, EOA_{550} . El espesor óptico es una medida de los aerosoles contenidos en una columna de aire atmosférica, y expresa la pérdida de radiación, en nuestro caso en la longitud de onda de 500 nanómetros, por la absorción o la dispersión. De los datos ofrecidos por los modelos, se confeccionó una serie de 15 años del EOA_{550} máximo diario analizado o previsto sobre cada una de las 54 estaciones medidoras de precipitación.

Las precipitaciones abundantes tienden a limpiar la atmósfera de aerosoles y, si bien las primeras gotas de lluvia pueden tener un alto contenido de aerosoles minerales, cuando la lluvia es cuantiosa termina por diluir sus efectos en superficie. La limpieza de aerosoles por la lluvia tiene lugar tanto por la recolección de estas como por la coagulación con las gotitas de nube (Andronache, 2004). Además, la eficiencia de recolección de las gotas de lluvia aumenta con el tamaño del aerosol, siendo máxima en el caso de los aerosoles minerales, con tamaños que pueden variar entre diámetros inferiores a 1 micrómetro, μm , hasta superiores a 10 μm , llegando a alcanzar los 250 μm en algunos casos (Chate et al., 2005). Por otro lado, los datos de la campaña de observación de lluvias de barro en Murcia revelaron que, de los 19 días con lluvia de barro observados, 17 ocurrieron con precipitaciones inferiores a 1 milímetro, mm, y que la máxima precipitación diaria durante un evento de lluvia de barro fue de 3.2 mm. Finalmente, las situaciones meteorológicas que propician las lluvias de barro son compatibles con escasas precipitaciones, ya que conllevan intrusiones de aire muy seco en capas bajas a medias, lo que reduce la eficiencia de las precipitaciones. Consecuentemente, para evitar una sobreestimación en el número de días de lluvia de barro, la climatología se ha restringido a los días en los que la precipitación acumulada diaria fue igual o inferior a 4 mm.

Para que el aspecto de las lluvias sea realmente de barro, el contenido de aerosoles minerales en la atmósfera debe ser elevado, por lo que no basta con la simple presencia de estos durante la lluvia, sino que se hace obligada la exigencia de una cantidad

mínima, o umbral, de aerosoles. La selección de este umbral, en términos de EOA_{550} , se basó en el análisis de los datos de la campaña de observación de lluvias de barro, llevada a cabo en Murcia, entre mayo de 2016 y diciembre de 2017. Durante este período se observaron 103 días con lluvia, de los que 19 fueron de barro. Para los datos diarios de los 20 primeros meses de la campaña, se eligió un primer umbral de EOA_{550} a partir del cual las precipitaciones serían consideradas de barro. Para los días con precipitación en Murcia, se compararon los que superaron el umbral de EOA_{550} con los días de lluvia de barro observada y, de forma similar, se calcularon los fallos. Mediante tablas de contingencia se evaluó este primer umbral de EOA_{550} calculando la probabilidad de detección, las falsas alarmas y el sesgo. Tras probar con diferentes umbrales, se eligió el que combinó el menor sesgo con el mayor índice de habilidad de Pierce, que representa la diferencia entre la probabilidad de detección y las falsas alarmas. El umbral de EOA_{550} seleccionado fue 0.5.

Por lo tanto, se consideró que, para que las lluvias registradas en cada una de las 54 estaciones fuesen de barro, la cantidad de precipitación recogida durante el día debía ser inferior o igual a 4 mm, y el EOA_{550} máximo diario debía ser superior o igual a 0.5. La combinación de estas dos series de datos, entre 2003 y 2017, para cada estación, ofreció los datos para elaborar la climatología de lluvias de barro en España, cuyos resultados se muestran a continuación.

2. RESULTADOS

La Fig. 1. y la Fig. 2 muestran el número medio al año de días de lluvia de barro, estimadas con el método indicado, en el período 2003 a 2017, tanto para la España peninsular, Baleares y Melilla, como para Canarias.

Como muestra la Fig. 1, la estación con mayor número de días al año con lluvias de barro es la de Menorca, con 14 días, donde se combinan de forma óptima la elevada frecuencia de las precipitaciones con la de altos valores de EOA_{500} , según reflejan la Fig. 4 y Fig. 5. La estación de Melilla, más cercana a las fuentes de aerosoles minerales del norte del Sahara, y sobrevolada más frecuentemente por aerosoles con altos valores de EOA_{500} muestra, sin embargo, un número medio de 12 días al año, inferior al de Menorca, al ser menos frecuentes las precipitaciones. La estación peninsular con mayor frecuencia de lluvias de barro es la de Murcia, con 10 días, contrastando con la cercana estación de Almería, con la mitad de lluvias de barro, 5 días. En comparación con Almería, la frecuencia de las lluvias de barro es ligeramente más elevada en el sureste de la comunidad de Castilla-La Mancha, en el suroeste andaluz, así como en las comunidades valenciana y catalana, con valores entre 6 y 8 días. Las estaciones de Navarra, País Vasco y Cantabria muestran valores de 7 días que, sin ser muy elevados, contrastan con los 3 a 5 días de las comunidades circundantes, posiblemente por la mayor frecuencia de lluvias, como muestran la Fig. 5. En el resto de zonas, las lluvias de barro parecen ser menos frecuentes, siendo especialmente raras en zonas del noroeste peninsular, con 2 días al año.

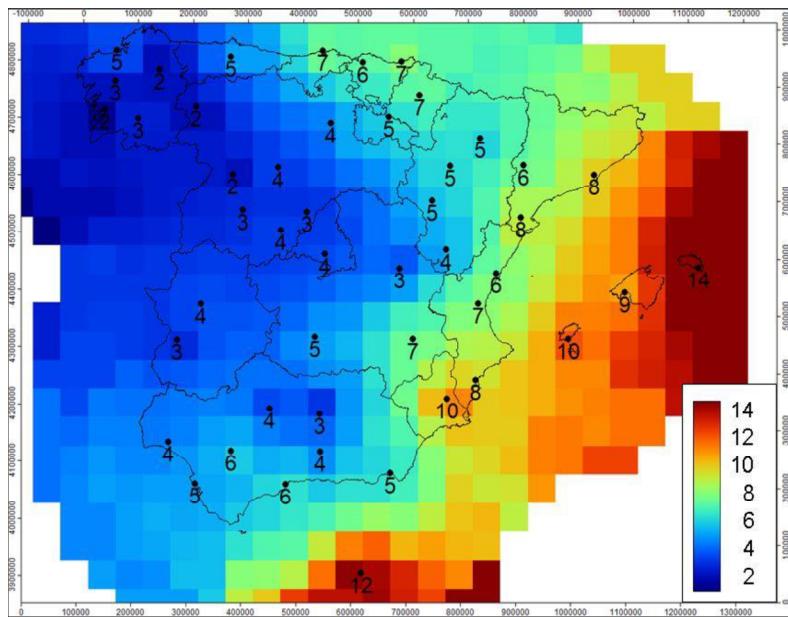


Fig. 1. Número medio de días al año de lluvias de barro. Período 2003-2017. España peninsular, Baleares y Melilla. Elaboración propia a partir de información proporcionada por AEMET y ECMWF.

La distribución mostrada en la Fig. 1 es compatible con los desplazamientos característicos de las masas de aire saharianas en la zona delantera de borrascas al oeste y sur peninsular, frecuentemente en forma de depresiones aisladas en niveles altos, DANAs. Como ejemplo, en la Fig. 2, se muestra la situación del 5 de mayo de 2017.

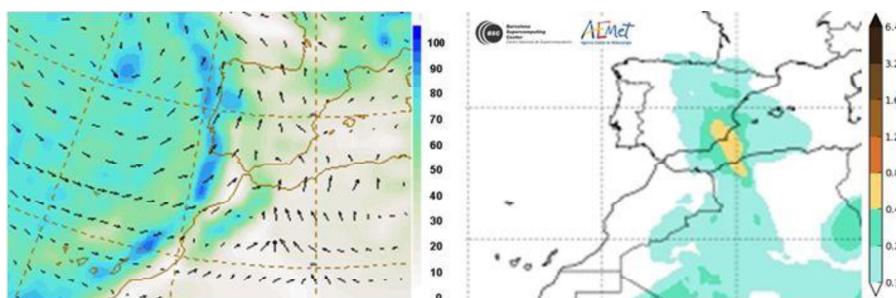


Fig. 2. A la izquierda, análisis de la dirección e intensidad del viento y humedad relativa del aire en la superficie de 850 hPa el día 5 de mayo de 2017 a las 00 UTC. Elaboración propia a partir de la aplicación Reanálisis 2.0 de AEMET con datos del ECMWF. A la derecha, la previsión del EOA para esa misma hora. Elaboración del Barcelona Dust Forecast Center.

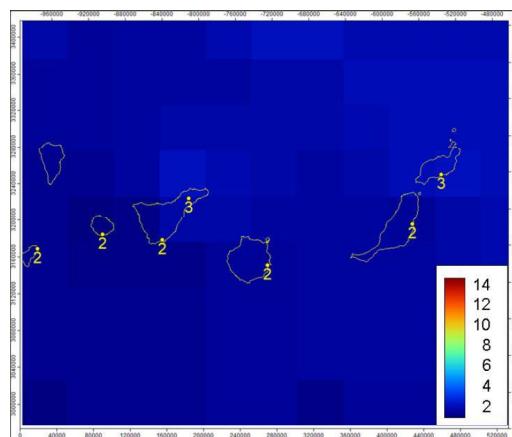


Fig. 3. Número medio de días al año de lluvias de barro. Período 2003-2017. Canarias. Elaboración propia a partir de información proporcionada por AEMET y ECMWF.

La Fig. 3 muestra el número medio de días al año de lluvias de barro estimadas en las islas Canarias, con valores entre 2 y 3 días. Aunque en Canarias son frecuentes y muy intensas las invasiones de aerosoles minerales, son también muy escasas las situaciones que vienen acompañadas por precipitación.

Para valorar los resultados de la Fig. 1 y 3, se muestran los mapas de número medio de días al año con EOA_{550} mayor o igual a 0.5, así como el de precipitaciones inferiores o iguales a 4 mm, ambos del período 2003 a 2017, Fig. 4 y Fig. 5, referidos a la España peninsular, Baleares y Melilla, incluyendo en el texto los valores de Canarias.

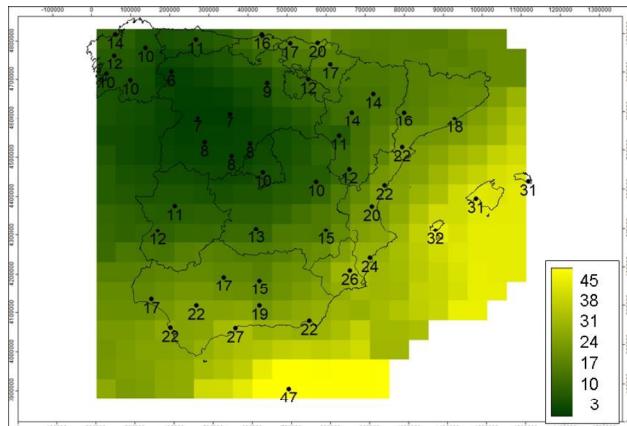


Fig. 4. Número medio de días al año con EOA_{500} mayor o igual a 0.5. Período 2003-2017. España peninsular, Baleares y Melilla. Elaboración propia a partir de información proporcionada por el ECMWF.

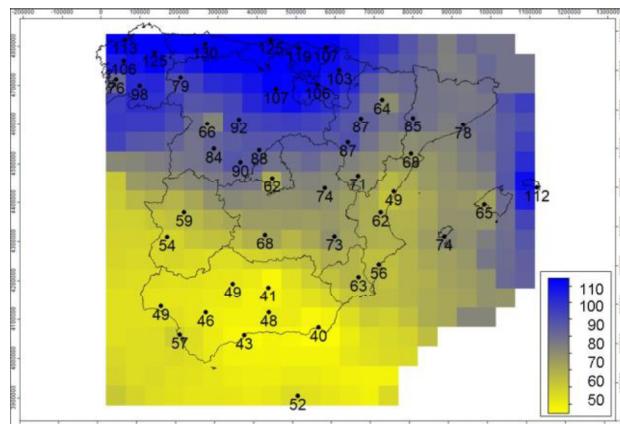


Fig. 5. Número medio de días al año de lluvias menores o iguales a 4 mm. Período 2003-2017. España peninsular, Baleares y Melilla. Elaboración propia a partir de información proporcionada por AEMET.

Como muestra la Fig. 4, el mayor número medio de días al año con EOA_{500} igual o superior a 0.5 se observa en Melilla, 47 días, seguido por las Baleares, con 31 y 32 días. Sobre la península, con valores cercanos a 25 días, destacan Málaga, Murcia y Alicante, rondándose los 20 días en amplias zonas del sur y este. Llama la atención el máximo relativo de días al año, de 16 a 20, en los que las estaciones de Navarra, País Vasco y Cantabria se ven sobrevoladas con abundantes aerosoles minerales. Esta circunstancia debe asociarse a la circunvalación que suele hacer la masa de aire sahariana entorno a las borrascas cuando estas se centran al sur de la península. Las zonas del centro peninsular y de gran parte de la comunidad de Castilla y León son las que menos días se ven sobrevoladas por aerosoles con EOA_{500} iguales o superiores a 0.5. En Canarias, el número medio de días al año con esos espesores disminuye hacia el oeste al alejarse de las fuentes de aerosoles, entre los 27 días del Hierro y los 37 de Lanzarote y Fuerteventura.

En la Fig. 5, se presentan los días medios al año con precipitaciones iguales o inferiores a 4 mm, revelando el máximo relativo en Menorca, con 112 días, bien diferenciado del resto de islas. Los días de precipitación en Melilla, 52, son inferiores al de las islas Baleares. En la península ibérica, se observa un gradiente de días desde mínimos al sur, 40 días, a máximos al norte en zonas de Galicia y Cantabria, de 125 días. Cabe destacar el mínimo en zonas llanas de Castilla y León, con hasta 66 días, así como el de las Rías Bajas, con 76 días. Finalmente, resaltar los bajos valores en gran parte del este peninsular. En Canarias, el número medio de días al año con precipitaciones iguales o inferiores a 4 mm oscila entre los 24 días de Tenerife/Sur a los 100 días de Tenerife/Los Rodeos, y con valores entre 30 y 50 días en el resto de islas.

Como apoyo adicional a la interpretación del número medio anual de días de lluvia de barro de la Fig. 1, se muestra, en la Fig. 6, la distribución espacial del porcentaje de estos frente al de días con precipitación igual o inferior a 4 mm. La figura muestra que, en Melilla, el 23 % de estos días de lluvia son de barro, y que, aunque llueve más días en Menorca que en el resto de islas Baleares, la proporción de lluvias de barro es

la misma, el 13 %. En el litoral mediterráneo, el porcentaje de lluvias de barro es elevada, entre el 10 y el 15 %, disminuyendo este valor hacia el noroeste peninsular, con mínimos en estaciones de Galicia en las que, tan solo, el 2 % de las lluvias de 4 mm o menos son de barro. Cabe destacar que, en las comunidades de Navarra, País Vasco y Cantabria, donde son muy frecuentes las lluvia, y relativamente frecuentes las de barro, la proporción entre estas no destaca sobre el resto de las de su zona. En Canarias, el porcentaje de lluvias de barro frente a lluvias de 4 mm o menos oscila entre el 3 % de Tenerife/Los Rodeos, al 6 % de Lanzarote, Fuerteventura, La Gomera y Tenerife/Sur.

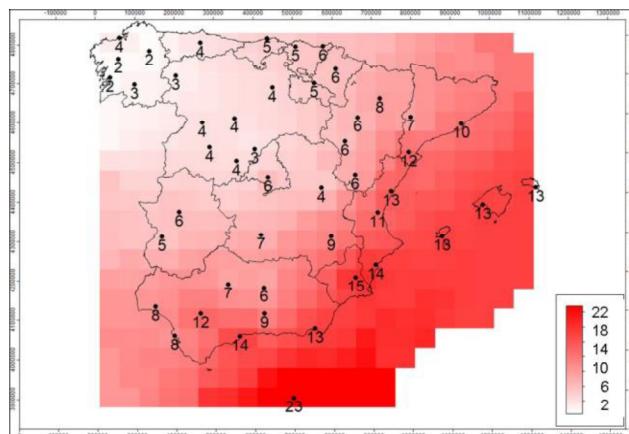


Fig. 6. Porcentaje del número medio de días al año con lluvias de barro respecto al total de días con precipitación inferior o igual a 4 mm. Período 2003-2017. España peninsular, Baleares y Melilla. Elaboración propia a partir de información proporcionada por AEMET y ECMWF.

La evolución temporal, entre 2003 y 2017, del número medio al año de días de lluvia de barro estimadas se muestra en la Fig. 7, tanto para el conjunto de la España peninsular, Baleares y Melilla, como para las islas Canarias, no detectándose una tendencia significativa.

En el promedio de la España peninsular, Baleares y Melilla, el período con mayor número de días al año de lluvia de barro abarca de marzo a junio, siendo mayo el mes más frecuente, y presentándose un segundo período durante el verano, de junio a septiembre, Fig. 8. De octubre a febrero, las frecuencias son claramente inferiores. En Canarias, el máximo se observa en agosto y septiembre, con un segundo período frecuente entre enero y febrero.

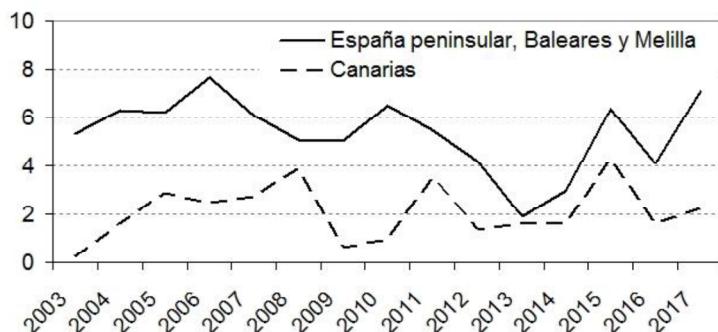


Fig. 7. Evolución de número medio de días de lluvia de barro al año en el conjunto de la España peninsular, Baleares y Melilla, así como en Canarias. Período 2003-2017. Elaboración propia a partir de información proporcionada por AEMET y ECMWF.

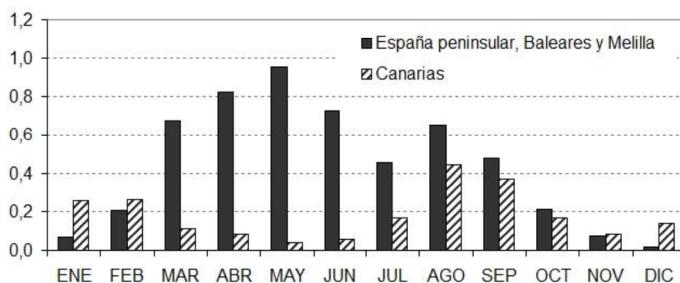


Fig. 8. Frecuencia por meses del número medio de días de lluvia de barro en el conjunto de la España peninsular, Baleares y Melilla, así como en Canarias. Período 2003-2017. Elaboración propia a partir de información proporcionada por AEMET y ECMWF.

3. CONCLUSIONES

De la información mostrada se pueden extraer las siguientes conclusiones: 1) Las zonas de España con mayor frecuencia de lluvias de barro incluyen el área de Melilla, parte del sureste peninsular y las islas Baleares, con más de 10 días al año. Por el contrario, las zonas con menor frecuencia incluyen Canarias, y el centro y oeste peninsular, con menos de 5 días al año. 2) En Melilla, el 23% de los días con acumulados de precipitación igual o inferior a 4 mm son en forma de barro. 3) En los últimos 15 años, 2003-2017, no se observa tendencia en el número de días al año con lluvia de barro. 4) En la España peninsular, Baleares y Melilla, el mes de mayo es el más favorable a las lluvias de barro, mientras que en Canarias son los meses de agosto y septiembre.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la profesionalidad del equipo del observatorio meteorológico de Murcia, Grey, Alberto y Juan Antonio, que se implicaron desde un principio en el seguimiento de las lluvias de barro; al buen hacer del personal de Sistemas Básicos en la preparación del captador; de la responsable de climatología, M^a Mar, que colaboró en el desarrollo de los procedimientos; al apoyo técnico de nivel de José y a la inestimable ayuda de Juan Andrés; así como al Delegado, Juan Esteban, que ofreció su apoyo incondicional. Especial agradecimiento a Irene por los trabajos previos, así como al profesor de la Universidad de Murcia, Juan Pedro, por la confianza puesta en esta Delegación, fomentando que sus alumnos realicen en ella prácticas de formación. Finalmente, gracias a Alicia por sus valiosas revisiones.

REFERENCIAS

- Aerosol Robotic Network (Aeronet) (2018). Aerosol Optical Depth. NASA. Recuperado de <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>
- Andronache, C. (2004). Precipitation removal of ultrafine aerosol particles from the atmospheric boundary layer. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, doi: 10.1029/2003JD004050.
- Barcelona Dust Forecast Center. Aemet (2018). The NMMB/BSC-Dust model. Gobierno de España. Recuperado de <https://dust.aemet.es/methods/the-nmmb-bsc-dust-model>
- Chate, D. (2005). Parametric study of scavenging of atmospheric aerosols of various chemical species during thunderstorm and nonthunderstorm rain events. *Journal of Geophysical Research*. Vol 110, doi:10.1029/2005JD006406.
- Boucher, O. (2015). Atmospheric Aerosols: Properties and Climate Impacts. Springer.
- Fiol, L.A., Fornós, J. J., Gelabert, B., & Guijarro, J. A. (2005). Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): Their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena*, 63(1), 64-84.
- Pardo, I. & Bañón, L. Lluvias de barro en Murcia. Calendario Meteorológico 2018. Aemet.
- Quereda Sala, J., & Olcina Cantos, J. (1994). Lluvias de barro en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica. *Investigaciones geográficas*, no 12 pp. 7-22.
- Wilson, L. & Nurmi, P. (s.f.). Forecast Verification Module. Eumetcal. Recuperado de <http://www.met-learning.eu>