

INCENDIOS CAUSADOS POR RAYOS EN EL ARCHIPIÉLAGO BALEAR: ANÁLISIS METEOROLÓGICO Y BIOFÍSICO

Margalida RIBAS-MUNTANER^{*1}, Miquel TOMÀS-BURGUERA¹, Alexandre MORAGUES¹, Francisco CUELLO¹, Jaume COMPANY¹, Maurici RUIZ^{1,2}, Josep FORTESA¹, Joan ESTRANY¹ y Julián GARCÍA-COMENDADOR¹

¹ *Observatori de Riscos Naturals i Emergències de les Illes Balears – RiscBal; Universitat de les Illes Balears, Mediterranean Ecogeomorphological and Hydrological Connectivity Research Team – MEDhyCON. Departament de Geografia y Instituto de Investigaciones Agroambientales y de Economía del Agua, Centre Bit Raiguer, Carrer dels Selleters 25, 07300 Inca (Illes Balears).*

² *Servei de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció, Universitat de les Illes Balears. Edifici d'Instituts Universitari de Recerca, Campus de la UIB, Cra. Valldemossa, km 7,5, 07122 Palma (Illes Balears).*

margarita.ribas@uib.cat, riscbal@uib.cat

RESUMEN

Este estudio presenta un análisis de los regímenes meteorológicos y las características biofísicas vinculadas a la ocurrencia de incendios forestales causados por la caída de rayos en el archipiélago balear. Concretamente, se examinó la estacionalidad, el comportamiento horario, la distribución espacial y las características de estos incendios y de los rayos responsables de su generación durante el periodo 1994-2019. Finalmente, se analizaron y clasificaron las condiciones sinópticas (500 hPa, 850 hPa y slp) responsables de la formación de las tormentas eléctricas susceptibles de generar incendios, a partir de un método de clasificación objetiva incluido en paquete synoptReg. Los resultados definieron el verano como el periodo más propenso a este tipo de incendios, coincidiendo con el periodo con un mayor número de descargas eléctricas, observándose un repunte durante las horas centrales del día. Además, se definieron 7 tipos de tiempo asociados a la formación de las tormentas eléctricas, siendo el tipo de tiempo 7 el más eficiente generando incendios. La distribución espacial y los usos del suelo afectados permitieron determinar las variables biofísicas favorables para su ignición, concentrándose en zonas montañosas ocupadas por masas forestales y a sus alrededores. La definición de situaciones sinópticas con una mayor probabilidad de ocasionar incendios y la determinación de zonas potencialmente vulnerables puede ser de gran interés en materia de prevención y gestión de incendios forestales en el archipiélago balear.

Palabras clave: Incendios forestales, rayos, tormentas eléctricas, islas baleares

ABSTRACT

This study analyzes the meteorological regimes and biophysical characteristics associated with wildfires ignited by lightning strikes in the Balearic Islands. Specifically, the seasonality, hourly patterns, spatial distribution, and characteristics

of these fires and the lightning responsible for igniting them were analyzed during the 1994-2019 period. Finally, the synoptic conditions (500 hPa, 850 hPa, and msl) responsible for the formation of thunderstorms likely to cause fires were analyzed and classified by using synoptReg package. Results identified summer as the season most susceptible to these wildfires, aligning with the peak lightning occurrence, with a peak during midday hours. Thunderstorms are associated with seven weather types, among which type 7 stands out for its high efficiency in generating fires. The spatial distribution and affected land uses helped determine the favorable biophysical variables for ignition. The area's most susceptible to these fires are those near mountainous regions occupied by forested land.

Key words: forest fires, lightning bolts, lightning storms, Balearic Islands

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios son una perturbación natural en los sistemas forestales mediterráneos (Plana et al., 2016). Se calcula que aproximadamente el 85% de la superficie anual quemada en Europa es de bosque mediterráneos (Pineda & Rigo, 2017). La génesis y propagación de los incendios está condicionada por factores como la meteorología, la topografía, la cantidad y distribución del combustible forestal (Plana et al., 2016). Sin embargo, durante las últimas décadas, estos factores han sido alterados por procesos como el cambio de usos del suelo y el cambio climático. Hay que destacar, el incremento de las temperaturas, periodos de sequía (Pineda & Rigo, 2017) y los procesos de forestación natural (García-Comendador et al., 2017), que aumentan la cantidad, densidad y continuidad de la vegetación y, por lo tanto, del combustible disponible, incrementándose la extensión y severidad de los incendios (Estrany & Gago, 2019). Además, la expansión de las zonas residenciales hacia zonas forestales incrementa el área de interfaz urbano-forestal, aumentando significativamente las áreas de riesgo y la vulnerabilidad social. Todos estos procesos provocan alteraciones en el régimen natural de incendios, acrecentando el riesgo para las poblaciones y los ecosistemas. En este contexto, los incendios ocasionados por causas naturales normalmente responden al impacto de un rayo durante una tormenta eléctrica. Estos son considerados la principal causa de ignición en los bosques de todo el mundo, aunque son únicamente responsables del 5% de los incendios forestales de la cuenca mediterránea (Pineda & Rigo, 2017) y del 3,9% de los incendios del Estado Español (Nieto et al., 2012). El clima, el tipo de vegetación, la topografía y las características de los rayos son variables fundamentales en la distribución espaciotemporal de estos (García-Ortega et al., 2011).

Este trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis y clasificación de los regímenes meteorológicos más propensos a generar las tormentas eléctricas que provocan incendios por impacto de rayos en las Baleares durante el periodo 1994-2019. Los objetivos específicos son: i) caracterizar los incendios ocasionados por la caída de rayos en función de la estacionalidad, distribución y localización (1994-2019) y ii) estudiar la relación entre la caída de rayos y la generación de incendios en función de los regímenes meteorológicos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El archipiélago balear se sitúa en el Mediterráneo occidental, al este de la Península Ibérica (Fig. 1). Se compone por cuatro islas principales (Mallorca, Menorca, Ibiza y Formentera) con una superficie de 4.992 km². El clima es mediterráneo, condicionado por las anomalías térmicas del Mediterráneo occidental y los factores topográficos. La estación seca destaca por temperaturas estivales elevadas y un marcado déficit hídrico. Los principales usos del suelo son forestales, destacando pinares y encinares, la maquia de acebuche y la vegetación de alta montaña constituida por matorral. Destaca la presencia de especies pirófitas y pirófilas con adaptaciones a la presencia de fuego (Estrany & Gago, 2019). El abandono de la agricultura durante la segunda mitad del siglo XX ha favorecido una transición forestal, generando procesos de forestación natural en campos de cultivo abandonados y zonas marginales, incrementándose la biomasa y la continuidad forestal del paisaje.

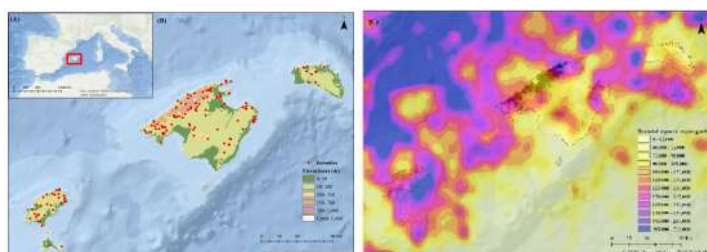


Fig. 1. (A) Localización de las Islas Baleares en la cuenca mediterránea occidental. (B) Distribución geográfica de los 241 incendios ocasionador por la caída de rayos del periodo 1994-2019, en los diferentes municipios de las Islas Baleares. (C) Distribución espacial de la densidad de rayos entre mayo y octubre para el periodo de estudio. Fuente: IBANAT y AEMET.

3. MÉTODOS

3.1. Base de datos

Se generó una base de datos de incendios y descargas eléctricas registradas durante los días de tormenta para el periodo 1994-2019 en el archipiélago balear en base a datos ofrecidos por el Instituto Balear de la Naturaleza (IBANAT). Se dispone de información de 241 incendios relativa a su localización, fecha, hora de detección, control y extinción, superficie forestal afectada (arbolada y no arbolada), además de datos meteorológicos (precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento y humedad). Por otra parte, se posee información de su ubicación, fecha y hora de registro, distancia respecto al detector de rayos e intensidad de la descarga de 6.750.500 rayos registrados durante 4.444 días de tormenta en Baleares y mar circundante. Los datos de las descargas eléctricas han sido proporcionados por la red de detección de rayos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

3.2. Análisis y clasificación de los regímenes meteorológicos

La clasificación de los regímenes meteorológicos se llevó a cabo mediante las funciones del paquete de R synoptReg (Lemus-Canovas et al., 2019), realizando

clasificaciones sinópticas de forma objetiva a partir de técnicas multivariantes. En este caso, se elaboró a partir del Análisis de Componentes Principales (PCA) utilizando datos diarios de altura geopotencial a 500 hPa (gpm), temperatura a 850 hPa (°C) y presión al nivel del mar (hPa), con una varianza del 90%. Estas variables provienen del reanálisis global de quinta generación (ERA5) del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF). Para esta clasificación solo se tuvo en cuenta los días de tormenta con más de 20 descargas eléctricas, restringiéndolo al período de mayo a octubre, que coincide con el período de mayor ocurrencia de incendios. De esta forma, se elaboró una clasificación en 7 tipos de tiempo en base a 1.688 días de tormenta.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización incendios ocasionados por la caída de rayos

Durante el periodo 1994-2019, se registraron 3.036 incendios forestales, siendo la caída de rayos (en adelante, LIW) la tercera causa de origen, con 241 casos (7,9 % del total). Esta tipología de incendios mostró una notable estacionalidad, concentrándose entre mayo y octubre (suponiendo un 95,8% del total), con un máximo en agosto y septiembre (Fig. 2A). Su comportamiento coincide con la temporada de mayor riesgo de incendios entre el 1 de mayo y el 15 de octubre. Además, se identificó un patrón horario, concentrándose durante las horas centrales del día (Fig. 2B), con dos picos de máxima actividad, a las 13 h (14 %) y a las 16 h (12 %).



Fig. 2. (A) Comportamiento estacional de los LIW para el periodo 1994-2019 (n=241). (B) Comportamiento horario de los LIW para el periodo 1994-2019 (n=241). Fuente: IBANAT y AEMET.

En cuanto a su ubicación, la mayoría se localizan en Mallorca (n = 181), seguida de Ibiza (n = 43), Menorca (n = 14) y Formentera (n = 3). Generalmente, se concentran en las zonas de mayor relieve o a sus alrededores, destacando las zonas de sierras y piedemonte en todas las islas (Fig. 1)

En Baleares, los LIW son incendios puntuales y pequeños, llegando difícilmente a afectar a una hectárea. Son responsables de la quema de 427.67 ha entre 1994 y 2019, afectando mayoritariamente espacios ocupados por bosques (46% de los incendios), vegetación arbustiva o herbácea (31,7% de los incendios).

4.2. Caracterización de las descargas eléctricas y relación con la generación de incendios

De los 4.444 días de tormenta únicamente 1.827 días presentaron descargas eléctricas en la zona terrestre (239.944 descargas). Estas descargas tienen un patrón estacional con un máximo entre agosto y diciembre, con un pico máximo en septiembre (38,5%; 92.316 descargas) (Fig. 2A). Además, se observa un comportamiento horario con un repunte durante las horas centrales del día (36,3%; 87.163 descargas) de los rayos entre las 11-15 h (Fig. 2B), con un pico secundario entorno a medianoche.

Respecto a la ubicación de impacto, en el caso de Mallorca la distribución espacial está condicionada por el gradiente altitudinal. En cambio, en Ibiza y Formentera, predominan ante las costas este, y en Menorca se observan dos máximos, uno ante la costa sur y otro ante las costas del oeste. También destaca la latencia de estos incendios, detectándose en días posteriores a las descargas eléctricas. Únicamente en el 49,8 % de los casos se han registrado rayos durante el día de detección del incendio, mientras que en un 41,1% de los casos, los rayos se detectaron en días previos. En el 9,1 % restante de incendios no se registraron descargas eléctricas asociadas.

Aunque existe una coincidencia temporal, tanto en escala mensual como en escala horaria en cuanto a número de incendios y el número de rayos, cuando se analiza la serie temporal 1994-2019 no existe correlación en el número anual de ambos eventos.

4.3. Clasificación de los regímenes meteorológicos asociados a la generación de tormentas eléctrica e incendios por rayo.

El análisis de los regímenes meteorológicos responsables de la formación de tormentas eléctricas permite elaborar una clasificación en siete grupos:

- 1) **Tipo 1** (n = 454): Vaguada centrada en la zona oeste de la Península Ibérica, detectable a 500 hPa, debido al descenso de un embolsamiento de aire frío procedente del Atlántico norte, dejando así a las Islas Baleares en la parte delantera y cálida de dicha vaguada. A 850 hPa se puede observar los restos de una entrada de aire cálido procedente del norte de África.
- 2) **Tipo 2** (n = 304): Anticiclón en superficie con centro en el norte de Europa acompañado de una dorsal anticiclónica a 500 hPa, con una leve vaguada en la zona noreste, favoreciendo la llegada de un flujo de levante al archipiélago balear.
- 3) **Tipo 3** (n = 270): Inestabilidad derivada del paso de una vaguada poco marcada sobre las Islas Baleares cuyo eje vertical de encuentra centrado sobre la Península Ibérica detectable a 500 hPa, dejando nuevamente al archipiélago balear en la parte delantera, con circulación poco marcada en superficie.
- 4) **Tipo 4** (n = 223): Baja presión en altura ubicada sobre la Península Ibérica asociada a una profunda vaguada. A 850 hPa se detecta una bajada de temperaturas que viene acompañada en superficie de un centro de bajas presiones en el Mediterráneo.
- 5) **Tipo 5** (n = 197): Vaguada centrada sobre las Islas Baleares (500 hPa) favoreciendo una bajada de las temperaturas debido a la entrada de flujo procedente del norte de Europa, que se detecta tanto a 850 hPa como en superficie.

- 6) **Tipo 6** (n = 121): Anticiclón en superficie ubicado al oeste de la Península Ibérica, favoreciendo la entrada de viento de norte. En altura (500 hPa) se caracteriza por la presencia de una elevada difluencia en las cercanías del archipiélago balear.
- 7) **Tipo 7** (n = 119): Pequeña entrada de aire frío procedente del interior del continente europeo en forma de vaguada que se extiende hasta el oeste de la Península Ibérica, con reflejo a 500 hPa y 850 hPa (500 hPa). En superficie se detecta un área de bajas presiones poco marcada en el Mediterráneo Occidental.

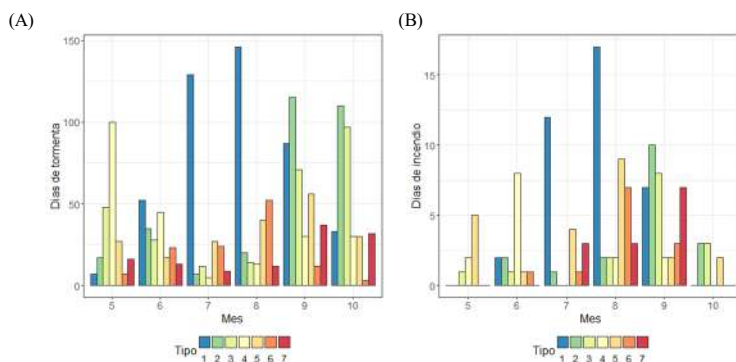


Fig. 3. (A) Distribución mensual del número de días de tormenta asociado a los 7 tipos. (B) Distribución mensual del número de días de incendios causados por tormenta en función de cada uno de los 7 tipos de tiempo.

La distribución mensual de las tormentas en función de los tipos muestra tres patrones distintos (Fig. 3A): (i) en mayo predomina la formación de tormentas bajo el tipo 4, (ii) entre septiembre y octubre la mayoría responden al tipo 2, y (iii) los meses de verano presentan una elevada concentración de casos vinculados al tipo 1. En cuanto a la distribución mensual de los incendios ocasionados durante estas tormentas (Fig. 3B), el dominio del tipo 1 se mantiene en julio y agosto, siendo responsable de la mayoría de los incendios. En septiembre y octubre los incendios se asocian mayoritariamente al tipo 2 y tipo 3. Finalmente, en mayo y junio dominan los tipos 5 y 6, respectivamente.

El análisis combinado de la presencia de tormentas eléctricas y la formación de incendios permite calcular la eficiencia de cada tipo, entendida como la frecuencia con la que cada uno de los tipos ocasiona incendios forestales por rayo (Fig. 5). En este sentido, destaca el tipo 7 durante el verano, y más concretamente en julio, cuando se generan incendios forestales por rayos en más de un 30 % de los días con el tipo 7. En cambio, a pesar de que el tipo 1 es el que genera un mayor número de incendios, su elevada recurrencia da lugar a una baja efectividad, siendo esta de cerca del 10 % en julio y agosto.

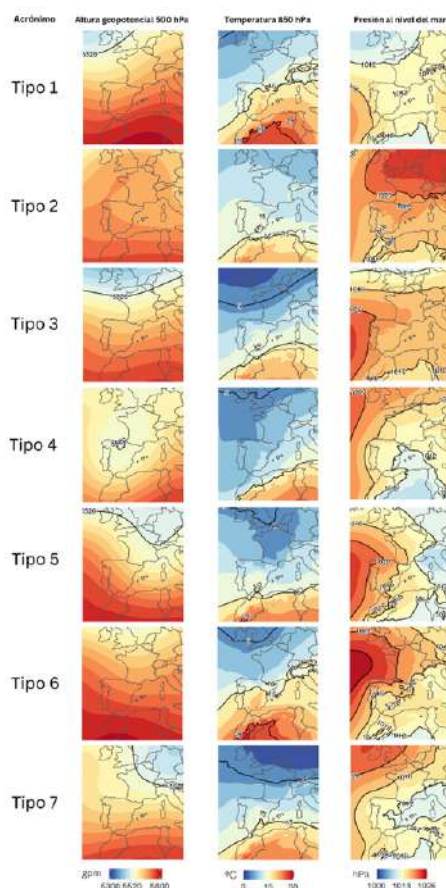


Fig. 4. Regímenes meteorológicos asociados a la formación de tormentas eléctricas en las Baleares para el periodo 1994-2019.

5. DISCUSIÓN

5.1. Características definitorias de los LIW y de las descargas eléctricas responsables de su formación.

Las tormentas y las descargas eléctricas son fenómenos estacionales concentradas entre agosto y diciembre. Una estacionalidad expuesta en diversos estudios (Ruiz et al., 2010), ligada a la formación de tormentas derivadas de la combinación entre la llegada de las primeras irrupciones de aire frío y las elevadas temperaturas de la superficie marítima (Tomàs-Burguera & Gelabert, 2014) entre agosto y octubre. La necesidad de descargas eléctricas para la generación de LIW hace evidente la coincidencia entre el comportamiento estacional de ambos fenómenos; en el caso de los LIW con un máximo entre agosto y septiembre, periodo más propenso para la generación de incendios por rayo en el territorio español (Pineda & Rigo, 2017).

Concretamente, la estacionalidad de los LIW viene definida por: i) la generación de tormentas eléctricas vinculadas a situaciones de inestabilidad ocasionadas por el ciclo anual de temperatura del aire superficial (Rivas Soriano et al., 2005); ii) los veranos secos, calurosos y con déficit hídrico del mediterráneo (Pineda & Rigo, 2017); y, iii) un máximo en el registro de descargas eléctricas sobre el archipiélago entre agosto y setiembre (Ruiz et al., 2010), confirmando así la relación existente incendios y rayos. En ambos fenómenos su máximo coincide durante los meses de agosto y septiembre. Más allá, también experimentan un mismo comportamiento horario vinculado, en el caso de los LIW, al ciclo de insolación diurno, repuntando durante las horas centrales de la tarde, momento en el que coinciden las temperaturas máximas y el mínimo de humedad relativa en verano (Pineda et al., 2022). En el caso de las descargas eléctricas se vincula al periodo durante el cual se registran las temperaturas máximas, momento en el que la energía disponible para el crecimiento de tormentas es más elevada (Tomàs-Burguera & Gelabert, 2014). En Baleares, el momento en el que se registran las temperaturas máximas se encuentra desplazado alrededor de las 12h debido al fenómeno del *embat* (brisa marina), el mismo fenómeno que favorece la presencia de puntos de convergencia que disparan el crecimiento de tormentas (Tomàs-Burguera & Gelabert, 2014; Ribas-Muntaner et al., 2023). Ambos eventos poseen un máximo alrededor de las 12h.

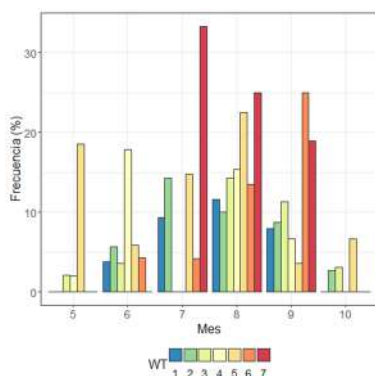


Fig. 5. Distribución mensual de la frecuencia (%) de generación de incendios por cada tipo.

Finalmente, estos incendios destacan por ser generalmente puntuales, pequeños, centrados en las zonas de relieve y alrededores ocupadas por pinares y especies arbustivas y/o herbáceas, coincidiendo con otros estudios (Pineda et al., 2022). Más allá de la relación existente entre la probabilidad de ignición con el número de rayos (Pacheco et al., 2009) y la coincidencia observada en la ubicación de ambos fenómenos, la ocurrencia de los incendios depende de la probabilidad de ignición requiriendo la coincidencia de ciertos factores (Pineda et al., 2022). Concretamente, la mayor afección en zonas boscosas se vincula a la mayor presencia de combustible y a la alta inflamabilidad de las especies de coníferas y aquellas que forman su sotobosque, además de la presencia de un menor albedo aumentando así la energía disponible para flujos de calor latente (Pacheco et al., 2009).

5.2. Regímenes meteorológicos favorables a la formación de LIW

La clasificación objetiva aplicada ha permitido definir 7 tipos de tiempo responsables de la formación de tormentas eléctricas durante los meses más cálidos del año. En la mayoría de los regímenes meteorológicos la situación a 500 hPa se caracteriza por la presencia de una vaguada acompañada de una lengua de aire frío en altura, que se desplaza de oeste a este pasando por encima del archipiélago balear. Dicha vaguada desplaza la isoterma de 15°C a 850 hPa hacia el sureste. En cambio, en superficie, domina una circulación poco marcada en un entorno de altas presiones, siendo esta la situación en superficie más frecuente durante el verano en el Mediterráneo Occidental (Grimalt et al., 2013). La ausencia de una circulación ciclónica marcada en superficie se debe a que el análisis se ha centrado en la época cálida del año, mientras que los ciclones mediterráneos intensos ocurren principalmente en la época fría. El tipo que más incendios genera es, a su vez, el que aparece con mayor recurrencia, es decir, el tipo 1. Además, su mayor recurrencia coincide con los meses en los que se dan más incendios. Sin embargo, su eficiencia para generar incendios es baja, ya que durante los meses de verano únicamente se registran incendios en un 10 % de los días con tipo 1. En el lado opuesto nos encontramos al tipo 7, que siendo el que menor recurrencia tiene, presenta una elevada eficiencia en los meses de verano. Así, en un 30 % de los días con tipo 7, las tormentas generadas dan lugar a un incendio. Este tipo de análisis puede aportar información valiosa en cuanto a la gestión y prevención de incendios, ya que la previsión de un determinado tipo se podría asociar con una probabilidad mayor de ocurrencia de incendio.

6. CONCLUSIÓN

Los LIW en el archipiélago balear son eventos de gran importancia debido a su coincidencia con el periodo de mayor riesgo de incendio en el territorio balear, a pesar de ser escasos y de pequeño tamaño. En primer lugar, la definición de 7 regímenes meteorológicos asociados a la formación de tormentas eléctricas durante el periodo de mayor ocurrencia de LIW, permite conocer bajo qué condiciones existe una mayor probabilidad de caída de rayos y por lo tanto de generación de estos incendios. Concretamente, se ha podido definir el tipo 7 como aquel con una mayor peligrosidad en la generación de incendios para el periodo de estudio, ocasionando incendios forestales en un 30% de los días en que se registra esta situación. Aun así, no se asegura la generación de incendios bajo unas determinadas condiciones sinópticas, debido a la intervención de otras variables biofísicas condicionantes para la ignición. Finalmente, la caracterización de las descargas eléctricas y de las variables que intervienen en la generación de LIW, junto con los regímenes meteorológicos propensos a su ocurrencia, permite incrementar el conocimiento actual sobre este fenómeno en el territorio balear y se presenta como una herramienta de útil para los servicios de prevención, control y extinción de incendios. Permite incrementar la alerta ante una mayor probabilidad de ocurrencia, teniendo en cuenta el escenario sinóptico y focalizar la atención en aquellas zonas más susceptibles.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Balear de la Naturaleza (IBANAT) la cesión de la base de datos de incendios generados por rayos.

REFERENCIAS

- Estrany, J., & Gago, J. (2019). Incendis forestals i riscos de desertificació en un context de canvi global. In J. Estrany & J. Gago (Eds.), *Gestió ambiental post-incendi forestal. Monitoratge i control de processos ecogeomorfològics amb tecnologies de precisió* (pp. 1–21).
- García-Comendador, J., Fortesa, J., Calsamiglia, A., Calvo-Cases, A., & Estrany, J. (2017). Post-fire hydrological response and suspended sediment transport of a terraced Mediterranean catchment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(14), 2254–2265. <https://doi.org/10.1002/esp.4181>
- García-Ortega, E., Trobajo, M. T., López, L., & Sánchez, J. L. (2011). Synoptic patterns associated with wildfires caused by lightning in Castile and Leon, Spain. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(3), 851–863. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-851-2011>
- Grimalt, M., Tomàs, M., Alomar, G., Martin-Vide, J., & Moreno-García, M. C. (2013). Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948-2009 period. temporal analysis. *Atmosfera*, 26(1), 75–94. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71063-4](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71063-4)
- Lemus-Canovas, M., Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., & Royé, D. (2019). Environmental Modelling & Software synoptReg: An R package for computing a synoptic climate classification and a spatial regionalization of environmental data. *Environmental Modelling and Software*, 118(January), 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.006>
- Pacheco, C., Aguado, I., & Nieto, H. (2009). Análisis de ocurrencia de incendios forestales causados por rayo en la España peninsular. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 9, 232–249.
- Pineda, N., Peña, J. C., Soler, X., Aran, M., & Pérez-Zanón, N. (2022). Synoptic weather patterns conducive to lightning-ignited wildfires in Catalonia. *Advances in Science and Research*, 19, 39–49. <https://doi.org/10.5194/asr-19-39-2022>
- Plana, E., Font, M., Serra, M., Borràs, M., & Vilalta, O. (2016). *El fuego y los incendios forestales en el Mediterráneo, la historia de una relación entre bosques y sociedad: cinco mitos y realidades para saber más*.
- Ribas-Muntaner, M., García-Comendador, J., Fortesa, J., Company, J., Ruíz, M., & Estrany, J. (2023). Análisis de los incendios forestales causados por impactos de rayo en mallorca. *XXVIII Congreso de La Asociación Española de Geografía*, 164, 155–164. <https://doi.org/10.21138/CG/2023.lc>
- Ruiz, M., Burguera, M. T., Riera, C. M. A. S., Salv, L., Gelabert, M. G., & Balears, I. (2010). *Climatología de descargas eléctricas en mallorca y su relación con las precipitaciones intensas (1944-2010)*.
- Tomàs-Burguera, M., & Gelabert, M. G. (2014). Actividad tormentosa, marítima, litoral y microcontinental en ámbitos insulares. Un análisis geográfico aplicado a Mallorca. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 66, 125–142. <https://doi.org/10.21138/bage.1783>