

CLIMATOLOGÍA DE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN MALLORCA Y SU RELACIÓN CON LAS PRECIPITACIONES INTENSAS (1944-2010)

Maurici RUIZ PÉREZ¹, Miquel TOMAS BURGUERA¹,
Cristina MAS RIERA¹, Lluís SALVÀ POU¹, Miquel GRIMALT GELABERT¹
¹*Departamento de Ciencias de la Tierra. Grupo de investigación de climatología, hidrología, riesgos naturales y territorio. Universitat de les Illes Balears*
maurici.ruiz@uib.es, miquel.tomas@gmail.com, cristina_mas_riera@hotmail.com, lluis_salva@hotmail.com, miquel.grimalt@uib.es

RESUMEN

Se realiza un estudio climatológico de las descargas eléctricas en el entorno de la isla de Mallorca a partir de datos de la Agencia Estatal de Meteorología para el período comprendido entre el 1 de julio de 1994 y el 31 de diciembre de 2010, considerando un área de 10.807 km², de los cuales 3.649,24 km² (33,7%) se corresponden con la superficie de la isla de Mallorca y el resto (66,3%) con superficie marítima. Se detecta un máximo de actividad durante el final de la época cálida, con una punta muy marcada en el mes de septiembre, mes en el que destaca tanto en número total de descargas como en número de días de tormenta. Además, se observa un máximo secundario primaveral centrado en el mes de mayo. Horariamente aparecen dos máximos, uno en torno a medianoche y otro a mediodía, correspondiéndose el primero con descargas en el mar y el segundo en tierra. Relacionando la actividad eléctrica con la ocupación del suelo y la topografía se detecta que las zonas rocosas, desprovistas de vegetación de zonas elevadas son los puntos en los que existe una mayor concentración porcentual de rayos. Relacionando los datos de pluviometría con la actividad eléctrica se ha establecido que la mayoría de jornadas con elevada precipitación (mayor a 20mm o mayor a 40mm) vienen caracterizadas por la presencia de días de tormenta en la mayoría del territorio, exceptuando la parte central de la Serra de Tramuntana, donde dominan las lluvias de carácter orográfico.

Palabras clave: Descargas eléctricas, rayos, tormentas, precipitaciones intensas, Mallorca.

ABSTRACT

A cloud to ground lightning climatology is studied around Mallorca using data from AEMET between July 1994 and December 2010, studying an area of 10.807 km². 3.649,24 km² (33,7%) of that area correspond to the island itself, and the rest (66,3%) to the maritime area. The maximum activity is detected at the end of the hot season, with a considerable maximum in September, both in number of CG lightning and days of storm. A second maximum is detected during the spring, with its highest value in May. Hourly two maximum appear, one around midnight and the other one around midday. The first one represents the maximum of maritime CG lightning and the second one represents the maximum of terrestrial CG lightning. By studying the land use and elevation, it is possible to detect a maximum (in relation with its percentage of surface) around mountain rocky areas. If we took into account the relation between lightning and rainfall, we can observe that the days with higher rainfall account (more than 20mm and more than 40mm) are also days with lightning, except in the Serra de Tramuntana, where orographic rain are predominant.

Key words: thunderstorm, lightning, heavy rainfall, Mallorca.

1. INTRODUCCIÓN

La red de detección de descargas eléctricas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) permite ubicar geográfica y temporalmente los rayos nube-tierra que acontecen en todo el territorio nacional, incluyendo aquellos que impactan en la superficie marina. Esta información resulta básica para dar apoyo al estudio de tormentas.

En las Islas Baleares el primer estudio en referencia a la climatología de descargas eléctricas lo realizó González Márquez (1996), analizando la distribución de descargas para un período de dos años (agosto '1994 / septiembre '1996). En el año 2004, con una serie temporal más extensa (1997-2004), Guijarro y Heredia elaboraron una climatología de rayos en las Islas Baleares más completa. El presente estudio, ha incrementado el período de estudio respecto a los precedentes. En concreto, se analiza este fenómeno en el ámbito geográfico de Mallorca entre el 1 de julio de 1994 y el 31 de diciembre de 2010. Los resultados obtenidos coinciden parcialmente con los de los trabajos anteriores y asimismo proporcionan nuevas conclusiones relevantes para una mejor aproximación al conocimiento de la climatología de las descargas.

Además de las referencias citadas sobre climatología de rayos, existen estudios que evalúan su relación con las precipitaciones, en este sentido destacamos a Ezcurra et. al. (2002), que analizan desde esta óptica el período 1992-1996 en el País Vasco. También destaca el trabajo de Alomar y Grimalt (2009) que relacionan las tormentas con las precipitaciones estivales en Mallorca. Esta relación entre actividad eléctrica y precipitación será también objeto de estudio en este trabajo.

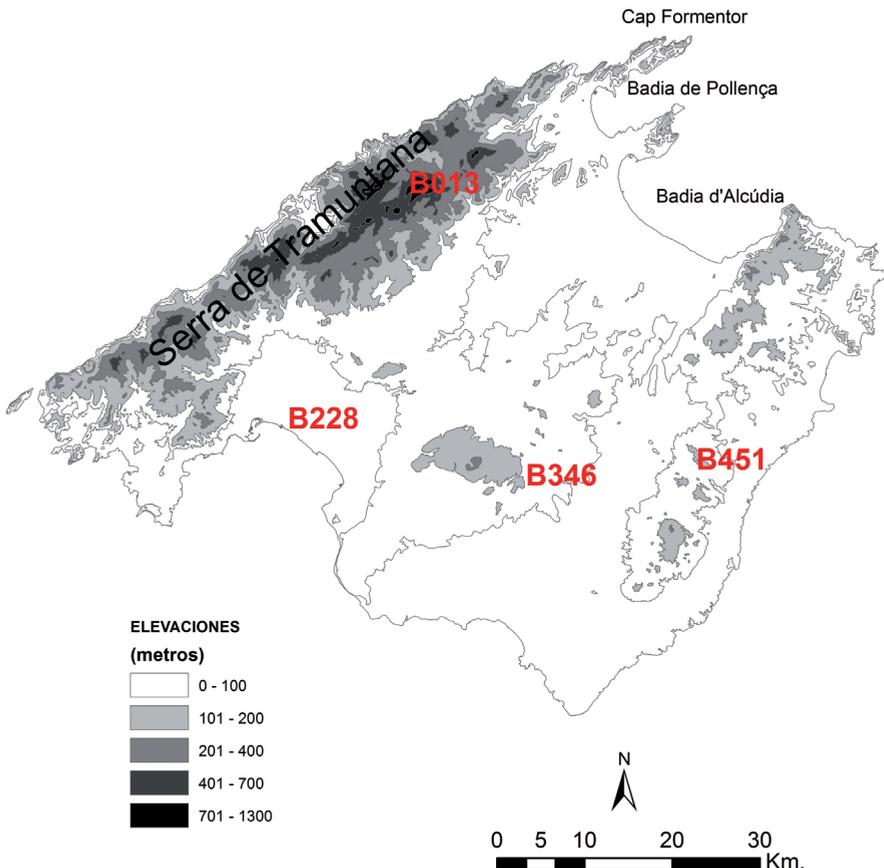


FIG. 1: Mapa de Mallorca con estaciones pluviométricas consideradas.

2. METODOLOGÍA

Como fuente de información de base, se han utilizado los datos de las descargas nube-tierra / nube-mar de la red de detección de rayos de AEM en el entorno geográfico de la isla de Mallorca, definido por las coordenadas UTM (Uso 31N) $X_{\text{mín.}} = 437$ Km. $Y_{\text{mín.}} = 4.326$ Km. y $X_{\text{máx.}} = 544$ Km. $Y_{\text{máx.}} = 4.427$ Km. Ello supone un área geográfica de estudio de 10.807 Km².

Mediante el uso de herramientas SIG (ArcGIS 10.0) se ha analizado la distribución espacial de las descargas y su relación con la topografía y la ocupación de los usos del suelo según la cartografía del proyecto Corine Land Cover proporcionados por el Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional para el año 2006 (<http://www.cnig.es>) y el modelo digital del terreno de la Dirección General del Territorio del Govern de les Illes Balears (2006).

Con el apoyo de instrumentos de análisis estadístico (SPSS vers. 9 y Microsoft Excel 10) se ha realizado el estudio temporal de los datos. El trabajo ha consistido en la determinación de los números totales de rayos para distintos períodos (anuales, mensuales y horarios) así como de los días de tormenta. Para la realización del análisis temporal se ha utilizado el período 1995-2010, excluyendo los datos de 1994 al no contemplar el año completo.

La relación de las tormentas con las precipitaciones, se ha evaluado a partir de la combinación de los datos de descargas con los datos pluviométricos de las estaciones de la red de observatorios de AEMET de Lluc (B013), Porto Pí (B228), Porreres (B346) y Manacor – Es Picot (B451). Para realizar el análisis se ha adaptado el método propuesto por Ezcurria et al (2002) mediante píxeles de 20x20 Km. centrado en las coordenadas de la estación pluviométrica, cambiando el recuadro por una circunferencia de 10 km de radio.

Para las estaciones mencionadas se calcula la relación entre cantidad de precipitación y presencia de al menos un rayo en el entorno y la relación existente entre los días de precipitaciones superiores a 20 mm y 40 mm y la presencia de al menos un rayo en el área de influencia considerada.

3. RESULTADOS

3.1. Distribución espacial

Se ha analizado la distribución espacial de rayos para todo el período considerado. La figura 2 refleja la densidad de descargas durante el período (rayos/km²). Destaca la concentración de actividad tormentosa en la zona Norte de la isla de Mallorca, concretamente una franja NW-SE que arranca del Cap Formentor y se extiende por las bahías de Pollença y Alcúdia. Este máximo tiene continuidad hacia el suroeste siguiendo el trazado de la Serra de Tramuntana hasta la parte central de la misma, que es donde se ubican sus principales elevaciones. Se puede identificar otra región de máxima actividad eléctrica en el interior de Mallorca, de nuevo siguiendo una franja en sentido NW-SE. Finalmente, en el SW del la isla aparece otra importante zona de concentración de descargas eléctricas, situadas en el mar.

Se apuntan diversos factores que expliquen esta concentración de la actividad tormentosa. La franja que recorre la parte central de la isla corresponde aproximadamente con la línea principal de convergencia de la brisa en Mallorca, ya definida por Jansà y Jaume (1946) y que se manifiesta como un área proclive a la generación de actividad convectiva durante la época cálida del año (Alomar y Grimalt 2009). El máximo principal frente al litoral de las bahías de Pollença y Alcúdia guarda probablemente relación con un área superficial de convergencia de vientos durante las situaciones de norte en que el Cierzo canalizado a través del Valle del Ebro y la Tramuntana, que salva la barrera de los Pirineos, confluyen hacia el canal que separa las islas de Mallorca y Menorca. Finalmente el máximo observado al SW sobre el mar coincide con una zona de especial actividad tormentosa que Guijarro y Heredia (2004) atribúan a la influencia de algún episodio concreto especialmente virulento.

Estos resultados están en línea con los obtenidos por los estudios precedentes, sobre todo por lo que respecta al máximo que aparece en la Bahía de Pollença y que tiene continuidad hasta la parte central de la Serra de Tramuntana.

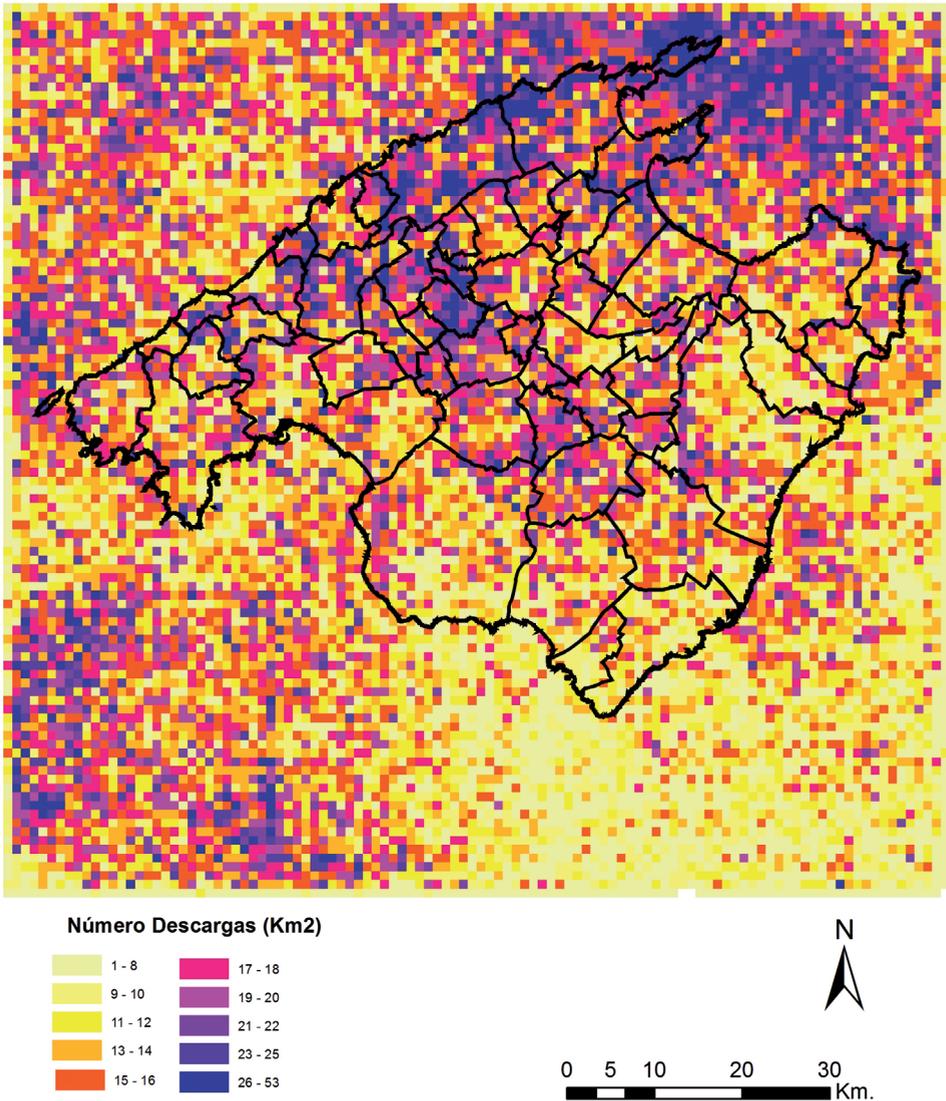


FIG. 2: *Distribución espacial de rayos (julio 1994 – diciembre 2010). Malla de 1x1km.*

Durante el periodo objeto de análisis en este estudio, que comprende desde el día 1 de julio de 1994 hasta el 31 de diciembre de 2011, se han contabilizado y tratado 160.806 descargas eléctricas, de las cuales 56.720 (35,3%) impactaron sobre Mallorca, mientras que las 104.086 restantes (64,7%) lo hicieron sobre el mar circundante. El porcentaje ocupado por la isla en relación al área total de estudio es de 33,7%, consecuentemente la densidad media de descargas observada sobre Mallorca (15,54 rayos/km²) es superior a la que se aprecia sobre la superficie marítima (14,88 rayos/km²).

También se ha analizado el patrón de distribución de la descargas en relación a la topografía y a la ocupación del suelo. Los resultados se presentan en las Tablas 1 y 2, en la que se observa la densidad de descargas para cada tipo de elevación y ocupación. Topográficamente se constata un gradual y progresivo aumento del número de descargas recibidas a medida que se gana altura. Desde valores de 14 descargas/Km² en zonas de la superficie marítima a extremos de 56 descargas/Km² en las cumbres insulares.

Intervalos elevación (m)	Número descargas	% descargas	Superficie (Km ²)	%Superficie	Descargas/Km ²
0-100	25.156	44,12	1.759,05	48,29	14,30
100-200	17.327	30,39	1.117,41	30,68	15,51
200-300	4.532	7,95	275,04	7,55	16,48
300-400	2.720	4,77	154,73	4,25	17,58
400-500	2.087	3,66	108,18	2,97	19,29
500-600	1.680	2,95	83,11	2,28	20,21
600-700	1.192	2,09	54,85	1,51	21,73
700-800	876	1,54	38,59	1,06	22,70
800-900	650	1,14	25,66	0,70	25,34
900-1000	400	0,70	14,81	0,41	27,01
1000-1100	187	0,33	6,26	0,17	29,87
1100-1200	123	0,22	2,82	0,08	43,60
1200-1300	56	0,10	1,34	0,04	41,79
1300-1400	36	0,06	0,64	0,02	56,66
TOTAL	57.022		3.642,48		

TABLA 1: Relación de las descargas eléctricas con la topografía.

Respecto a los usos del suelo, aparecen áreas de descargas superiores a 16 descargas/Km² en tres tipos de ámbitos: áreas montañosas (a las que se asocian usos como roquedos, pastizales, espacios sin vegetación y matorrales esclerófilos), áreas de litoral bajo y sistemas playa-duna-marisma (playas, dunas, lagunas costeras, áreas húmedas continentales, aeropuerto) y colinas y vertientes montañosas (normalmente ligadas a olivares, pinares y bosques mixtos y frondosos).

3.2. Distribución temporal

Existe una notable diferencia interanual: el año con mayor actividad eléctrica fue el 2009 (19.118 rayos) registrados, mientras que el año con una menor actividad corresponde a 1996, (3.135 descargas). La Figura 3 refleja la gran variabilidad temporal del fenómeno, que se manifiesta con una desviación estándar elevada (5.147,72) cuando el valor promedio es de 9.704,38. Asimismo, cabe señalar que el año con un menor número de rayos registrados sobre la superficie de la isla fue 2010, mientras que en la superficie marítima fue 1996.

Se ha establecido la frecuencia media mensual (Tabla 3): el mes de septiembre es el de mayor actividad, acumulando un 43,49% del total anual, distribuyéndose en un 68,03% en el área marítima estudiada y el otro 31,97% en el área terrestre. Este máximo viene antecedido y precedido por valores importantes en agosto y en octubre, ambos con un 15% de los rayos anuales. Se aprecia un carácter distinto en la distribución espacial de la actividad tormentosa, ya que en agosto buena parte de ésta ocurre en la superficie insular (44,77%), mientras que en octubre el porcentaje de las descargas sobre Mallorca se reduce al 35,14%. Entre estos tres meses se contabilizan el 73,2% de las descargas eléctricas anuales. En general la concentración de las tormentas en la segunda mitad del año es muy notable y de julio a diciembre se contabilizan el 90% de los rayos. En un marcado contraste con las áreas continentales próximas, el porcentaje de tormentas primaverales es muy bajo, anotándose únicamente un máximo secundario de descargas eléctricas en mayo, con el 2,8% del total anual, fenómeno que se puede relacionar con las relativamente bajas temperaturas superficiales del Mediterráneo de marzo a mayo.

Tipo Ocupación	Número descargas	% descargas	Superficie (Km ²)	% Superficie	Descargas/(Km ²)	Tipo Ocupación	Número descargas	% descargas	Superficie (Km ²)	% Superficie	Descargas/(Km ²)
Vinecos	28	0	2,55	0,07	11,00	Matorral boscoso	4094	7	266,07	6,84	15,39
Campos Golf	191	0	16,39	0,42	11,66	Mosai co cultivos	4335	7	291,13	7,22	15,42
Salinas	23	0	1,87	0,05	12,29	Tejido urbano continuo	1185	2	74,55	1,92	15,89
Embalses	16	0	1,24	0,03	12,86	Olivares	1005	2	62,82	1,61	16,00
Zonas en construcción	84	0	6,23	0,16	13,48	Pinar	6417	11	400,04	10,29	16,04
Mosai co cultivos / vegetación natural	1556	3	111,61	2,87	13,94	Canteras	40	0	2,49	0,06	16,09
Cultivos anuales	15150	25	1.069,40	27,49	14,17	Bosque mixto	1531	3	99,02	2,39	16,46
Zonas portuarias	34	0	2,39	0,06	14,24	Playas, dunas	81	0	4,80	0,12	16,66
Tierras regadio	2109	3	147,39	3,79	14,27	Lagunas costeras	21	0	1,23	0,03	17,08
Tejido urbano discontinuo	1539	3	106,76	2,74	14,36	Bosques frondosas	1891	3	105,41	2,71	17,94
Zonas industriales o comerciales	163	0	11,39	0,29	14,39	Aeropuerto	165	0	8,52	0,22	19,36
Tierras secano	4770	8	321,32	8,26	14,85	Zonas húmedas continentales	399	1	19,70	0,51	19,74
Mar	3621	6	249,30	6,25	14,88	Matorrales esderofilos	6397	11	317,99	8,17	19,99
Redes viarias, ferroviarias	162	0	10,73	0,28	15,10	Espacios vegetación escasa	95	0	4,64	0,12	20,46
Prados	54	0	3,56	0,09	15,17	Pastizales	622	1	29,85	0,77	20,84
Vertederos y escombreras	7	0	0,46	0,01	15,27	Roquedo	413	1	17,34	0,45	23,62
Frutales	2221	4	145,12	3,73	15,30	TOTAL	60397		3.891,18		

TABLA 2: Relación de las descargas eléctricas con la ocupación del suelo.

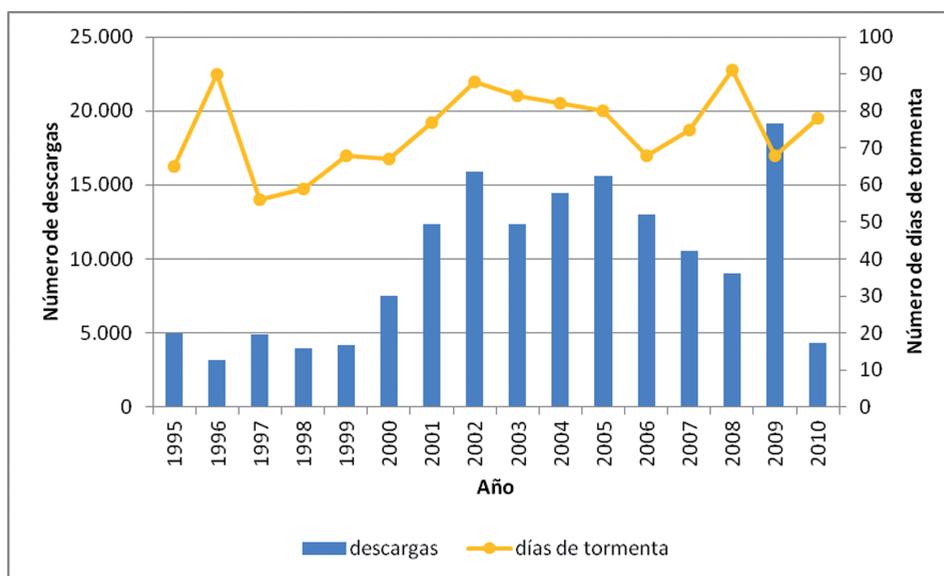


FIG. 3: Descargas eléctricas y días de tormenta anuales para el periodo 1995-2010.

RAYOS REGISTRADOS SEGÚN EL ÁMBITO GEOGRÁFICO DE DESCARGA (1995-2010)						
	Mallorca	%	Mar	%	Total	% sobre total anual
Enero	556	26,55	1.538	73,45	2.094	1,35
Febrero	441	25,49	1.289	74,51	1.730	1,11
Marzo	783	42,60	1.055	57,40	1.838	1,18
Abril	1.581	53,14	1.394	46,86	2.975	1,92
Mayo	1.947	44,18	2.460	55,82	4.407	2,84
Junio	1.170	49,14	1.211	50,86	2.381	1,53
Julio	2.267	38,64	3.600	61,36	5.867	3,78
Agosto	10.432	44,77	12.870	55,23	23.302	15,01
Septiembre	21.591	31,97	45.947	68,03	67.538	43,49
Octubre	8.184	35,14	15.105	64,86	23.289	15,00
Noviembre	4.046	28,74	10.031	71,26	14.077	9,07
Diciembre	2.164	37,43	3.617	62,57	5.781	3,72

TABLA 3: Descargas eléctricas registradas por meses durante el periodo 1995-2010.

A partir del análisis de la distribución horaria de las descargas se ha construido la figura 4, que dibuja una curva con dos máximos (mediodía y medianoche) y dos mínimos (primeras horas de la madrugada y media tarde). El máximo de mediodía supone que entre las 11 UTC y las 14 UTC se superen los 8.000 rayos, con un máximo a las 12 UTC de 9.843 descargas. El máximo nocturno supera los 8.000 rayos para el periodo de las 23 UTC a las 01 UTC, y su máximo se da a las 00 UTC con un total de 9.700 descargas. Territorialmente existe una diferencia fundamental entre estos dos máximos: durante el mediodía dominan los rayos terrestres mientras que el resto del día lo hacen los rayos marítimos.

Las descargas marítimas se dan con mayor frecuencia a medianoche, con un segundo máximo a primeras horas de la mañana. En cambio, los rayos caídos sobre Mallorca se dan mayoritariamente en las horas centrales del día, si bien sigue percibiéndose un débil segundo máximo a medianoche.

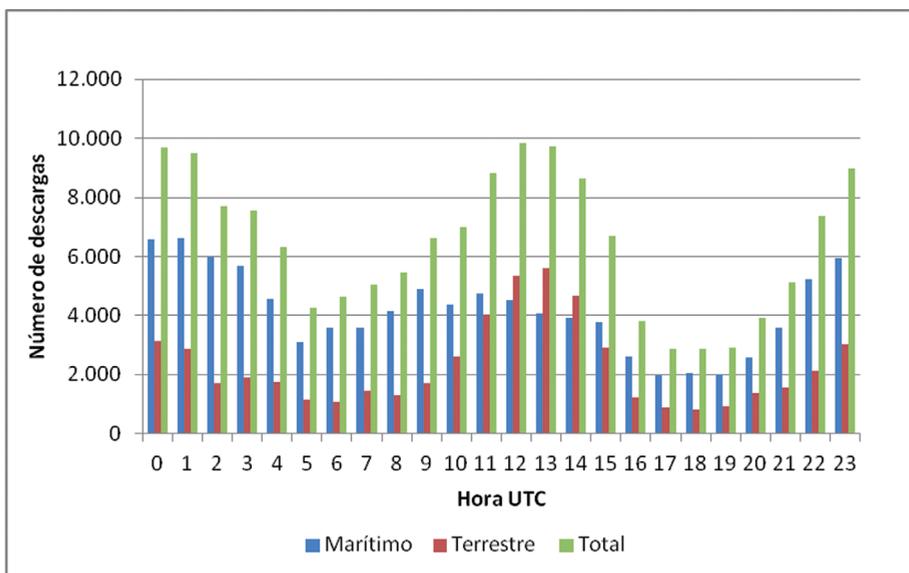


FIG. 4: Ciclo diario de descargas eléctricas para el periodo 1995-2010.

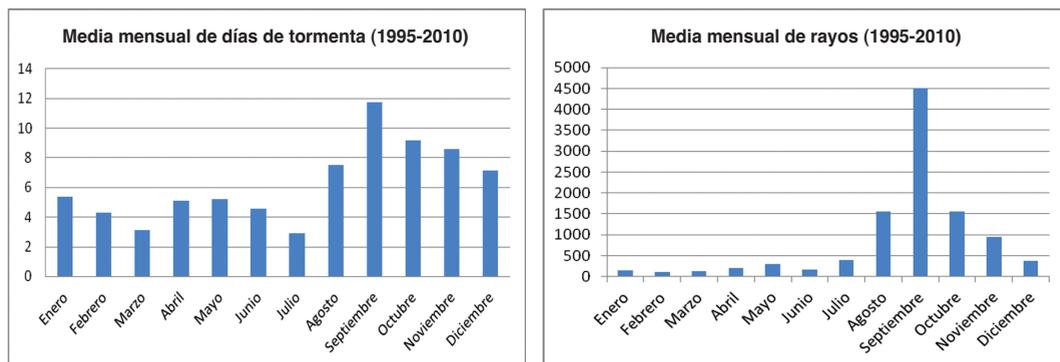


FIG. 5: Media de días de tormenta y media de rayos por mes (1995-2010).

Considerando ahora los días de tormenta, es decir, aquellos días en los que se ha registrado al menos una descarga eléctrica en el ámbito de estudio. Se aprecia como se produce una media de 74 días de tormenta anuales. El año con mayor número de días de tormenta fue el 2008, con 91 días, aunque no se trata del año con más actividad eléctrica; éste fue el 2009 (figura 3). El segundo año con más jornadas de tormenta, 1996, con 90 días tempestuosos, es el año con el menor número de descargas eléctricas. Por meses, nuevamente septiembre destaca holgadamente como el periodo con mayor número de días de tormenta (188). Le siguen octubre (147 días de tormenta), noviembre (137) y agosto (120). El máximo secundario primaveral de actividad eléctrica, correspondiente a mayo, apenas se traduce al número de días de tormenta, prácticamente igual al que muestra abril con una media de 5 días de tormenta (figura 5).

3.3. Relación de las tormentas con las precipitaciones intensas

Se supone una relación directa entre precipitaciones intensas y actividad tormentosa. Para su constatación se han considerado 4 estaciones meteorológicas de variado emplazamiento geográfico: Palma-Porto Pi, Porreres, Manacor y Lluc. Para cada una de estas estaciones, se han seleccionado los días cuyas precipitaciones han sido superiores a 20 mm y a 40 mm. Estos datos se han puesto en relación con la presencia de rayos en dichas jornadas lluviosas dentro los 10 Km más próximos a la estación meteorológica (tabla 4).

	Palma - Porto Pi	Manacor	Porreres	Lluc
Días con $P > 20\text{mm}$	100	104	110	314
Días con $P > 20\text{mm}$ y rayos	59	46	68	103
% ($P > 20$)/(($P > 20$) + rayos)	59%	44%	61,80%	32,80%
Días con $P > 40\text{mm}$	16	18	20	126
Días con $P > 40\text{mm}$ y rayos	11	12	13	39
% ($P > 40$)/(($P > 40$) + rayos)	68,75%	67%	65%	30,95%

TABLA 4: Días con precipitaciones abundantes y la presencia de rayos (1 de julio 1994 - 31 de diciembre 2010).

En las estaciones situadas en la zona llana de la isla (Manacor, Palma-Porto Pi y Porreres) se aprecia un grado de relación importante entre las precipitaciones abundantes y las tormentas, de manera que en más del 60% de los días en que se superan los 40 mm hay tormenta.

En cambio en Lluc, situada en el interior de la Serra de Tramuntana, la actividad eléctrica está presente en menos de un tercio de los días cuya precipitación es superior a 40 mm. La presencia de numerosos episodios de lluvias abundantes favorecidas por el efecto orográfico en relación a los flujos de componente norte parece estar en el origen de este comportamiento diferente.

En cualquiera de las cuatro estaciones, si se analiza la precipitación provocada por los eventos tormentosos, se observa una frecuencia muy importante de días de tormenta con escasa o muy baja precipitación (Figura 6).

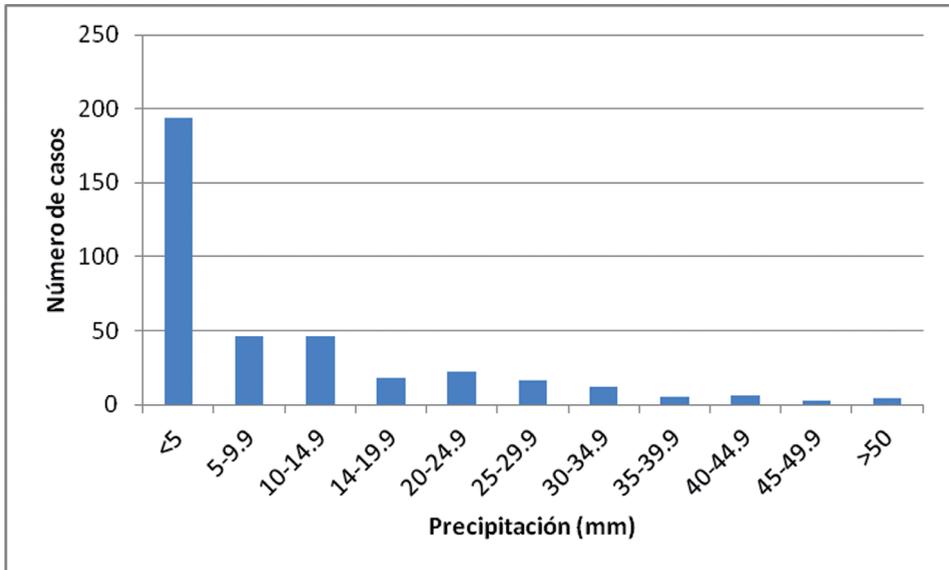


FIG. 6: Relación entre ocurrencia de tormenta y precipitación registrada para la estación de Porreres (B346).

CONCLUSIONES

El análisis de la frecuencia y distribución geográfica de las descargas nube-tierra en la isla de Mallorca entre julio de 1994 y diciembre de 2010 permite apreciar algunas características de la actividad tormentosa en el área de estudio.

Las descargas muestran una distribución territorial desigual, con presencia de máximos marítimos relacionados con la circulación atmosférica en el sector del Mediterráneo Occidental, y otros con marcada influencia geográfica derivados del relieve o del régimen de brisas de la época cálida del año. El mayor número de descargas se produce en zonas elevadas de la Serra de Tramuntana (+1100 m.) ocupadas mayoritariamente por roquedos o zonas de escasa vegetación.

La máxima actividad eléctrica se produce al final de la época cálida del año, con un máximo destacado en septiembre. Respecto al ciclo diario se detecta una clara oscilación, con dos máximos uno al mediodía y otro a medianoche. El máximo de rayos marítimos acontece durante la noche y el de rayos terrestres durante el día. Esta circunstancia se relaciona con el incremento de la inestabilidad en el interior de la isla que de abril a octubre puede provocar tormentas debido a las convergencias de la brisa marina.

Existe una marcada variabilidad anual tanto en el número de descargas eléctricas como en el número de jornadas con tormenta siguiendo las pautas de la elevada irregularidad presente en el clima mediterráneo.

En la parte llana de Mallorca se intuye una relación directa entre los episodios tormentosos y las jornadas con precipitaciones especialmente abundantes. En cambio, en la zona montañosa de la isla

son posibles lluvias intensas sin tormenta, provocadas por forzamiento orográfico en ausencia de fenómenos convectivos.

Los resultados obtenidos difieren parcialmente de las características climáticas de la actividad tormentosa señaladas por Guijarro y Heredia (2004) a partir de las observaciones entre 1997 y 2004 y para el ámbito balear. Como consecuencia de la gran variabilidad anual de los fenómenos tormentosos, el poder trabajar con series de observaciones más prolongadas permitirá obtener en años venideros una caracterización más detallada de los mismos.

Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto CGL2011-29263-C02-02 *Estructura diaria y 10-minutal de la precipitación y su caracterización sinóptica objetiva en el mar Balear (Baleares)*.

REFERENCIAS

- Alomar, G. y Grimalt, M. (2009). *Tormentas y precipitaciones estivales en Mallorca. Microcontinentalidad y brisas marinas*. Congreso de Geógrafos Españoles. XXI. Ciudad Real. 1681-1690.
- Ezcurra, A.; Areitio, J. y Herrero, I. (2002). "Relationships between cloud-to-ground lightning and surface rainfall during 1992-1996 in the Spanish Basque Country area". *Atmospheric research*, 61, pp. 239-250.
- González Márquez J (1996). "Distribución de las tormentas en Baleares". *Boletín Mensual Climatológico Islas Baleares*, 53:121-124.
- Guijarro, J. A. y Heredia, M. A. (2004). "Climatología de descargas eléctricas nube-tierra en las Islas Baleares". *Revista de Climatología*, vol. 4, pp. 9-19.
- Jansà, J.M. y Jaume, E. (1946). "El régimen de brisas en la isla de Mallorca". *Revista de Geofísica*. Año IV, n. 19, 304-328. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- Katsanos, D.; Lagouvardos, K.; Kotroni, V. y Argiriou, A. (2007). "Combined analysis of rainfall and lightning data produced by mesoscale systems in the central and eastern Mediterranean". *Atmospheric research*, 83, pp. 55-63.