

Análisis de eventos extremos de precipitación en la provincia de Alicante (1981–2020)

Analysis of extreme rainfall events in the province of Alicante (1981-2020)

Esther Sánchez-Almodóvar 

esther.sanchez@ua.es

Instituto Interuniversitario de Geografía

Universidad de Alicante (España)

Resumen

En el litoral mediterráneo español el análisis de los extremos de precipitación es importante no solo por contribuir a uno de los principales riesgos naturales, las inundaciones, sino también para conocer los posibles efectos del cambio climático en la variable pluviométrica de la región. En esta investigación se analizan los eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) registrados en 26 observatorios de la provincia de Alicante entre los años 1981–2020. Para ello se han seleccionado los observatorios del Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que para dicho periodo contienen menos de un 5 % de datos faltantes. Previo al análisis, se ha llevado a cabo un control de calidad de la base de datos mediante el cálculo del *Real Precision Index* (RPI). El análisis de los extremos de precipitación se realizó utilizando el software Rstudio. Los resultados muestran la variabilidad y distribución espacial de los eventos, así como su evolución en la escala temporal, pero no se puede afirmar que exista una tendencia clara al incremento de estos, debido a que la evolución no presenta significancia estadística.

Palabras clave: episodios de lluvia; datos diarios; cambio climático; sureste peninsular; test de Mann-Kendall.

Abstract

In the Spanish Mediterranean coast, the analysis of precipitation extremes is important not only because it contribute to one of the main natural hazards, floods, but also to understand the possible effects of climate change on the rainfall variable in the region. This research analyses the extreme precipitation events (≥ 100 mm/day) recorded in 26 observatories in the province of Alicante between 1981-2020. For this purpose, the observatories of the National Climatological Data Bank (BNDC) of the State Meteorological Agency (AEMET), which contain less than 5 % of missing data for that period, have been selected. Prior to the analysis, a quality control of the database was carried out by calculating the Real Precision Index (RPI). The analysis of precipitation extremes was performed using Rstudio software. The results show the variability and spatial distribution of the events, as well as their evolution on the time scale, but it cannot be affirmed that there is a clear trend towards an increase in these events, since the evolution does not present statistical significance.

Key words: rainfall events; daily data; climate change; south-east of Spain; Mann-Kendall test.

1 Introducción

El sexto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021) determina que el calentamiento global observado de $1,1$ °C, respecto a la media de la segunda mitad del siglo XIX, ya ha provocado el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos y meteorológicos extremos, como es el caso de las precipitaciones torrenciales en algunas regiones. Además, prevé que con un calentamiento de $1,5$ °C las precipitaciones y las inundaciones asociadas sean más intensas (IPCC, 2018). Según las proyecciones futuras del IPCC (2021, 2022), la zona del Mediterráneo será una de las grandes afectadas por el cambio climático.

El análisis de la precipitación diaria es tarea compleja debido a la elevada variabilidad interanual y distribución espacial, especialmente en el sureste peninsular (Martín Vide & Olcina Cantos, 2001), pero su análisis es clave para la determinación de los riesgos de origen climático. El área mediterránea se caracteriza por una alta concentración diaria de la precipitación en pocos días al año (Martín-Vide, 2004), dando lugar a eventos extremos (Serrano-Notivoli et al., 2018b). La concentración diaria de la precipitación ha sido ampliamente estudiada por Martín-Vide (2004), Benhamrouche y Martín Vide (2012) y Serrano-Notivoli et al. (2018c) para la España peninsular. A escala regional, en la Comunidad Valenciana se han realizado estudios que analizan la

distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación (De Luís et al., 1996) y los índices de concentración y agresividad de la misma (De Luis et al., 1997). Benhamrouche y Martín Vide (2011) han puesto de relieve que, en el caso de la provincia de Alicante, la concentración diaria de la precipitación alcanza los valores máximos en su zona litoral.

El estudio de la evolución de los episodios extremos de precipitación ha suscitado gran interés a escala mundial, como se refleja en la literatura científica internacional, en el centro y sur de Chile (Ávila Parra & Martín Vide, 2013), en Colombia (Pinilla & Pinzón, 2010), en Brasil (Bezerra et al., 2019), China (Xiao et al 2017), Singapur (Li et al., 2018), Georgia (Keggenhoff et al., 2014), Portugal (Santos et al., 2019) o Argelia (Bessaklia et al., 2021). En España, destacan las investigaciones realizadas por Serrano-Notivoli et al. (2018b), Serrano-Notivoli et al. (2018a), Gonzalez y Bech (2017), Vicente-Serrano et al. (2017) y Serrano Notivoli (2016). Serrano Notivoli (2016), en su estudio sobre la precipitación en España para el periodo 1950-2012, señala una tendencia negativa de la precipitación máxima anual para toda la península ibérica. Por el contrario, encuentra tendencia positiva en la contribución de los eventos de mayor intensidad al total pluviométrico anual por el aumento de su frecuencia.

Por tanto, el estudio de los fenómenos extremos ligados a las precipitaciones es de enorme importancia para la región del litoral mediterráneo español, y concretamente para la provincia de Alicante, siendo de utilidad para analizar su influencia en la disponibilidad hídrica en esta área caracterizada por la aridez, y para estudiar cómo los cambios en la modalidad de precipitación influyen en la planificación hídrica. Además, resulta de interés evaluar las posibles situaciones de riesgo derivadas de eventos torrenciales, el aumento de su potencial erosivo, así como su influencia en la actividad turística, de vital importancia para la situación socioeconómica de la región (Olcina Cantos & Vera-Rebollo, 2016a, 2016b). El cambio en la modalidad de las precipitaciones está relacionado con la reducción de la velocidad media (en un 14 %) de la corriente en chorro polar desde 1980 (Francis & Vavrus, 2012), lo que provoca ondulaciones más frecuentes del *Jet Polar*, siendo las precipitaciones de origen convectivo más frecuentes (Llasat et al., 2021), por la presencia de DANAS en las capas medias-altas de la troposfera, circunstancia que refuerza la hipótesis del aumento de fenómenos meteorológicos extremos en las latitudes medias y, en concreto, en la península ibérica (Olcina & Biener, 2019, p. 157).

En las últimas décadas, las investigaciones realizadas con base en la precipitación han estado enfocadas en la región valenciana al análisis de los eventos más importantes en el periodo de 1971–1995 mediante técnicas estadísticas de clasificación de patrones de distribución de lluvia

torrencial (Peñarrocha et al., 2002) y a la variabilidad espacial de la precipitación con el análisis de una base de datos entre 1964–1993 en la costa peninsular española y Baleares, para evaluar tendencias (Romero et al., 1998). Igualmente, se han estudiado los efectos observados del cambio climático en la intensidad de precipitación en la región mediterránea (Olcina & Biener, 2019), siendo cada vez más numerosos los estudios que se centran en el análisis de la evolución y la tendencia del número de extremos en el litoral mediterráneo español (Estrela et al., 2000; Meseguer-Ruiz et al., 2018; Valdés-Abellán et al., 2017), en general, y en la provincia de Alicante (Moutahir et al., 2014; Olcina Cantos, 2017; Valdés-Abellán & Úbeda Müller, 2020) en particular.

Un rasgo propio de la precipitación mediterránea es la irregularidad interanual e intranual de las lluvias y su concentración en un corto espacio de tiempo. Esta característica resulta de gran relevancia en la planificación territorial y en la gestión de la escorrentía en medios urbanos (Olcina Cantos, 2017, p. 144). El problema de la gestión de la escorrentía urbana recobra mayor interés si cabe ante el contexto actual de cambio climático en la cuenca del mediterráneo occidental, donde el efecto de los extremos pluviométricos ya manifiestos son un eje principal de gestión del agua y adaptación de las áreas urbanas (Olcina Cantos et al., 2018). Medios urbanos, especialmente afectados en el litoral mediterráneo español, donde en los últimos años se han registrados episodios de inundación con lluvias intensas entre los 50 y los 150 mm, precipitadas en apenas 60-90 min. (Ribas Palom et al., 2020, p. 234).

La presente investigación centra su análisis en la evolución del número de eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) en la provincia de Alicante. Para ello, se han obtenido los datos de precipitación diaria para la serie 1981–2020 de 26 observatorios de la red oficial de AEMET en la provincia de Alicante. Por lo tanto, los objetivos de esta investigación son: a) determinar el número de días de precipitación, según los umbrales establecidos, para cada observatorio; b) construir calendarios climáticos que representan la variabilidad interanual, intranual y decenal mensual de los eventos extremos en la provincia; c) estudiar la tendencia estadística en la evolución de los episodios de ≥ 100 mm/día en los 40 años de la serie; y d) representar cartográficamente los resultados.

2 Datos y métodos

2.1 Datos

Para la elaboración de este trabajo se han obtenidos los datos de precipitación diaria de los observatorios de la provincia de Alicante procedentes del Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) disponibles para el periodo de análisis del 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2020, un lapso de tiempo superior a 30 años, que resulta ser el más conveniente para un área de estudio, como es el sureste peninsular, donde la precipitación presenta una variabilidad mayor que en el resto de la península ibérica (Martín Vide, 2003, p. 13). Los observatorios utilizados de forma inicial para dicho periodo son 29, todos ellos incluidos en la red climatológica primaria y secundaria de AEMET en la provincia de Alicante (Rodríguez Ballesteros, s. f.). Con el fin de trabajar con las series de datos más completas, se establece que para que un observatorio goce de validez para el análisis, el porcentaje de datos faltantes en cada una de las series de 40 años no puede ser superior al 5 % (Tabla 1). Como se advierte en dicha tabla, los observatorios de Chinorlet-Cases del Senyor (Monóvar), El Verger Racons (Dénia) y Sella (Sella) superan el 5 % de datos faltantes, y por tanto no se consideran en el posterior análisis. Este criterio favorece que la base de datos objeto de análisis quede por debajo del 1,5 % de datos faltantes en su conjunto (Tabla 2).

Para los análisis posteriores se han empleado las series de precipitación diaria de 26 observatorios distribuidos por el territorio alicantino (Figura 1). Como se observa en dicha figura y atendiendo a los datos de la tabla 1, la distribución altitudinal de las estaciones es una muestra de la diversidad orográfica de la provincia, con una diferencia de 801 m entre el observatorio a mayor altitud, Banyeres de Mariola, con 816 m, y el de menor altitud, La Marina de Elche, con 15 m.

Por tramos de altitud, de los 26 observatorios seleccionados para este análisis, cinco (19,2 %) se sitúan entre el nivel del mar y los 50 m, todos ellos localizados en las comarcas del sur de Alicante (l'Alacantí, Alicante-Elche/Aeropuerto), el Bajo Vinalopó (La Marina de Elche) y el Bajo Segura (Callosa de Segura, Orihuela –Los Desamparados–, Rojales –El Molino–); siete (26,9 %) entre los 50 y 100 m (Elche Campo Agrícola, Pego Convento, Gata de Gorgos, Alicante, Elche CHS, Callosa d'en Sarriá El Algar y Elche); entre 100 y 200 m de altitud, únicamente se localiza el observatorio de San Vicente del Raspeig-ST (3,8 %); tres (11,5 %), entre 200 y 300 m (todos en el norte de la provincia de Alicante: Callosa d'en Sarria Tossal de Salomó, Bolulla, Vall de Laguard Fontilles); un solo observatorio (3,8 %), el de Agost Escuela Nacional, se ubica en el tramo altitudinal entre 300 y 400 m; por encima de esta última cota

altimétrica y hasta los 500 m se sitúan los observatorios de La Romana Algesar y Jijona (7,7 %); en el intervalo 500–600 m se emplazan cinco estaciones (19,2 %), las de Villena (La Vereda), Tibi Taleca, Pinoso CHS, Almudaina y Tárbenas CHJ Poble de Dalt; y, finalmente, los dos observatorios (7,7 %) que superan los 600 m de altitud son Beneixama Casa Crespo y Banyeres de Mariola.

Tabla 1. Código, nombre, coordenadas geográficas, altitud y porcentaje de datos faltantes de los 29 observatorios inicialmente considerados (provincia de Alicante)

ID	OBSERVATORIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m snm)	% VALORES FALTANTES
1	AGOST ESCUELA NACIONAL	38° 26'	0° 38'	306	2,18
2	ALICANTE	38° 22'	0° 29'	81	0,00
3	ALICANTE-ELCHE/AEROPUERTO	38° 16'	0° 34'	43	0,07
4	ALMUDAINA	38° 45'	0° 21'	580	0,42
5	BANYERES DE MARIOLA	38° 42'	0° 39'	816	3,54
6	BENEIXAMA CASA CRESPO	38° 41'	0° 45'	661	0,68
7	BOLLULLA	38° 40'	0° 06'	240	4,46
8	CALLOSA DE SEGURA	38° 07'	0° 52'	18	0,48
9	CALLOSA D'EN SARRIA EL ALGAR	38° 39'	0° 05'	95	4,96
10	CALLOSA D'EN SARRIA TOSSAL DE SALOMÓ	38° 38'	0° 07'	218	2,01
11	ELCHE	38° 16'	0° 41'	95	0,67
12	ELCHE CH SEGURA	38° 15'	0° 42'	85	1,91
13	ELCHE CAMPO D' AGRICOLA	38° 14'	0° 41'	63	1,68
14	GATA DE GORGOS	38° 46'	0° 05'	79	0,81
15	JIJONA	38° 32'	0° 30'	484	0,30
16	LA MARINA DE ELCHE	38° 08'	0° 38'	15	0,57
17	LA ROMANA ALGESAR	38° 22'	0° 53'	445	1,07
18	ORIHUELA 'LOS DESAMPARADOS'	38° 04'	0° 58'	26	1,46
19	PEGO CONVENTO	38° 50'	0° 06'	70	0,44
20	PINOSO C H SEGURA	38° 24'	1° 02'	575	0,79
21	ROJALES EL MOLINO	38° 05'	0° 42'	31	1,49
22	SAN VICENTE DEL RASPEIG-ST	38° 23'	0° 32'	115	1,96
23	TARBENA CH JUCAR POBLE DE DALT	38° 41'	0° 06'	587	0,93
24	TIBI TALECA	38° 31'	0° 34'	538	0,48
25	VALL DE LAGUARD FONTILLES	38° 46'	0° 05'	250	4,34
26	VILLENA (LA VEREDA)	38° 41'	0° 55'	533	0,08
27	CHINORLET-CASES DEL SENYOR	38° 24'	0° 57'	578	9,61
28	EL VERGER RACONS	38° 51'	0° 01'	4	6,95
29	SELLA	38° 36'	0° 16'	436	6,93

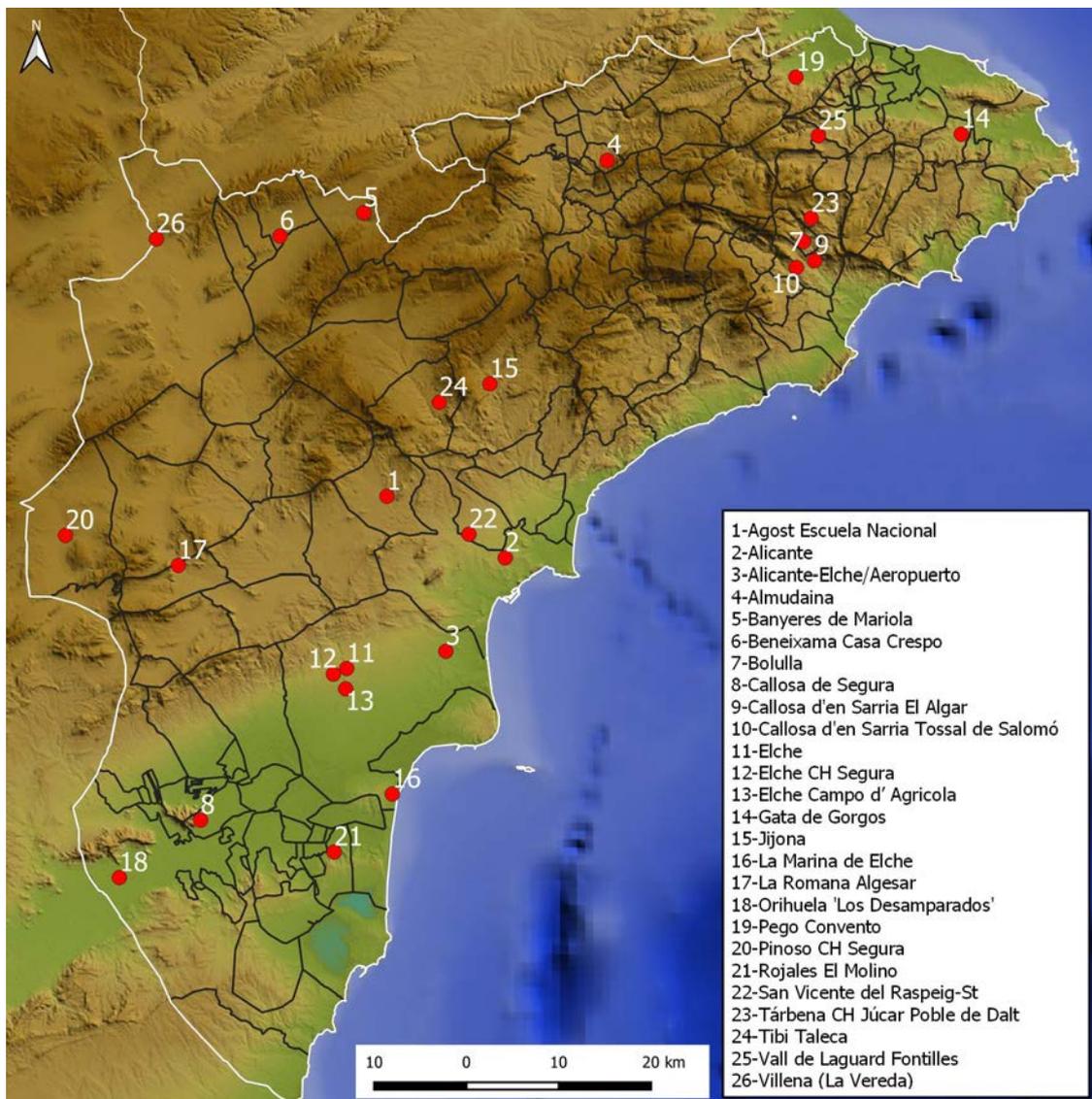
Fuente: elaboración propia a partir de Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

Tabla 2. Datos generales de las series de observatorios inicial y definitiva

DATOS DE LAS SERIES						
Serie	Años	Observatorios	Días de un observatorio	Días de la serie	Días faltantes	% datos faltantes
1981-2020						
29 observatorios	40	29	14 610	423 690	8957	2,11
26 observatorios		26		379 860	5524	1,45

Fuente: elaboración propia a partir de Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

Figura 1. Ubicación geográfica de los observatorios meteorológicos en la provincia de Alicante



Fuente: elaboración propia a partir de ICV (cv05) & AEMET

La precipitación es el elemento climático con mayor variabilidad (o irregularidad) temporal y gran diversidad (variabilidad) espacial, y por tanto es el parámetro que presenta mayor dificultad en los análisis estadísticos. Por ello, la calidad de los estudios climatológicos depende, en gran medida, de la precisión con la que han sido medidos los datos, en este caso datos de precipitación diaria. En los estudios sobre la variable pluviométrica es esencial realizar test de homogeneidad de los datos a emplear para detectar inhomogeneidades y errores (Venema et al., 2012).

La evolución en la observación y registro de datos en las estaciones meteorológicas, tanto manuales como automáticas, ha favorecido la calidad de los mismos, aunque también ha supuesto algunos problemas. La deficiencia de los datos climáticos puede ser debida a diversos factores como los criterios seguidos por el observador en el caso de las estaciones manuales (Martín Vide, 2003), el cambio de hora en el registro de los datos, la ubicación de la estación o el instrumental (Štěpánek et al., 2013, p. 122), mientras que los datos digitales pueden contener errores derivados de la recogida, digitalización, procesamiento, transferencia, almacenamiento y transmisión en las estaciones automáticas. Por ello es necesario someter los datos a análisis de calidad y pruebas de homogeneidad (Brunet & Jones, 2011, pp. 29-30).

2.2 Métodos

Los test de homogeneidad son procedimientos estadísticos que permiten detectar la existencia de inhomogeneidades, en algunos casos, auténticos puntos de ruptura en la serie analizada. Existen varios test de homogeneidad con diferentes grados de exigencia: por un lado, los de homogeneización absoluta, que se basan en la aleatoriedad de la serie objeto de estudio como, por ejemplo, el test de von Neumann y el de Thom. Por otro lado, existen los test de homogeneidad relativa (precisan de series homogéneas cercanas), como por ejemplo el test de SNHT (Alexandersson, 1986). En comparación, aunque los test de homogeneidad relativa son más robustos, los de homogeneidad absoluta siempre pueden ser aplicados, ya que no dependen de la existencia de series homogéneas cercanas (Martín Vide, 2003, p. 33).

El *Real Precision Index* (RPI), desarrollado por Petrovic (1998) se define como la distancia media entre las marcas de la escala del instrumento que se deriva de los datos meteorológicos originales, ya que la precisión de las mediciones es una de las posibles causas de falta de homogeneidad de los datos meteorológicos. Por tanto, este método indica el índice de calidad de los datos y representa la tolerancia permitida de los datos analizados. Además, proporciona un nuevo enfoque en cuanto al procesamiento de los datos (Petrovic, 1998). Según este autor, el

resultado de la aplicación de este método va a estar condicionado tanto por la calidad del equipo instrumental como por la cualificación del personal encargado de la observación.

Un estudio realizado por Meseguer-Ruiz y Sarricolea (2017) evaluó la validez del *Real Precision Index* (RPI) como test de homogeneidad para series de precipitación diaria, resultando ser uno de los métodos más selectivos en comparación con otros test de homogeneidad absoluta, como los ya citados de von Neumann y Thom. Teniendo como referencia esta investigación se ha aplicado el cálculo del RPI para todos los observatorios que componen la base de datos a analizar. Este índice presenta un control de precisión mediante el recuento de las frecuencias absolutas de los días con precipitación decimal observada (del 0 al 9), excluyéndose los días sin precipitación observada (0,0 mm/día). El método de Petrovic se basa en la suposición de que cada valor decimal único está representado en el conjunto de datos con el mismo número de casos. Por tanto, esta cuantía de casos que deben verse representados el mismo número de veces es igual a la décima parte del conjunto total del que se compone la serie (N). Esa décima parte representa el valor esperado de cada valor decimal único (n_e) del conjunto total (N). Su expresión matemática sería la siguiente:

$$n_e = \frac{N}{10} \quad (\text{ecuación 1})$$

Esta representación decimal es hipotética, ya que el número real (n_r) de valores decimales no se ve representado con el mismo número de casos. Por ende, se establece la diferencia (d_i) entre el número real (n_r) de valores decimales únicos y el valor esperado (n_e).

$$d_i = n_r - n_e \quad (\text{ecuación 2})$$

De la diferencia anterior, los valores positivos se refieren a aquellos valores decimales concretos en los que el número real de casos es superior al esperado, mientras que los valores negativos resultantes de dicha diferencia representan la falta de número real de casos con respecto al esperado. La suma de todos los valores d_i es igual a 0, lo que se expresa de la siguiente forma:

$$D = \sum_{i=0}^9 d_i = 0 \quad (\text{ecuación 3})$$

En cambio, la suma de todos los valores absolutos de las diferencias es mayor que cero:

$$D_{abs} = \sum_{i=0}^9 |d_i| > 0 \quad (\text{ecuación 4})$$

El RPI se define mediante la expresión:

$$X_{ef} = \frac{2N}{2N - D_{abs}} \cdot 0.1 \quad (\text{ecuación 5})$$

La tabla 3 muestra el resultado del índice RPI para el conjunto de observatorios considerados en el análisis. Un valor del RPI < 0,15 indica registros de gran precisión. Los observatorios con mejores resultados son Alicante, Alicante-Elche/Aeropuerto, Elche, La Marina de Elche, Pinoso CHS y Villena. Por el contrario, valores de RPI > 0,25 indican registros sin precisión, como es el caso de Banyeres de Mariola, Bolulla, Elche CHS, La Romana Algesar y Vall de Laguard Fontilles.

Tabla 3. Valores de RPI para cada observatorio

ID	OBSERVATORIO	N	VALOR RPI
1	AGOST ESCUELA NACIONAL	1374	0,14
2	ALICANTE	2326	0,11
3	ALICANTE-ELCHE/AEROPUERTO	2305	0,11
4	ALMUDAINA	1778	0,12
5	BANYERES DE MARIOLA	1708	0,34
6	BENEIXAMA CASA CRESPO	2426	0,16
7	BOLULLA	1614	0,40
8	CALLOSA DE SEGURA	1824	0,14
9	CALLOSA D'EN SARRIA EL ALGAR	1949	0,14
10	CALLOSA D'EN SARRIA TOSSAL DE SALOMÓ	2201	0,13
11	ELCHE	2145	0,11
12	ELCHE CH SEGURA	1386	0,48
13	ELCHE CAMPO D AGRICOLA	1356	0,12
14	GATA DE GORGOS	2185	0,13
15	JIJONA	2103	0,12
16	LA MARINA DE ELCHE	1834	0,11
17	LA ROMANA ALGESAR	1685	0,30
18	ORIHUELA 'LOS DESAMPARADOS'	1755	0,12
19	PEGO CONVENTO	2138	0,12
20	PINOSO C H SEGURA	1947	0,11
21	ROJALES EL MOLINO	2234	0,12
22	SAN VICENTE DEL RASPEIG-ST	1718	0,12
23	TARBENA CH JUCAR POBLE DE DALT	2044	0,13
24	TIBI TALECA	1761	0,13
25	VALL DE LAGUARD FONTILLES	1949	0,39
26	VILLENA (LA VEREDA)	2397	0,11

Fuente: elaboración propia a partir de AEMET

En el cálculo del RPI para cada uno de los observatorios que comprenden la base de datos de precipitación diaria (Tabla 3), se han descartado de todas las series aquellos días sin registro de

precipitación. Para el caso de la provincia de Alicante, todos los observatorios presentan un valor superior a 12 000 días sin registro de precipitación.

Según la metodología propuesta por Meseguer-Ruiz y Sarricolea (2017) se definen tres clases de datos (Tabla 4) con base en los valores del RPI:

- Los datos de alta precisión son los que componen las series en las que el valor del RPI está comprendido entre 0,1 y 0,15. Estos valores del índice indican que los datos proceden de estaciones meteorológicas con instrumental de calidad y observadores profesionales cualificados. Estas condiciones se dan en las redes meteorológicas profesionales.
- Los datos de precisión tolerable son los de las series en las que el valor del RPI está entre 0,15 y 0,25. Estos valores indican que el instrumental de medición es de menor calidad o que los observadores no tienen la cualificación suficiente. Estas condiciones se suelen dar en estaciones donde la medición de las variables es una tarea secundaria.
- Los datos sin precisión corresponden a series con un valor del RPI entre 0,25 y 1. Estos valores indican que los datos proceden de estaciones meteorológicas sin instrumental de calidad y personal con escasa o nula formación meteorológica y sin interés en la observación.

Tabla 4. Clasificación de los observatorios según categoría del RPI

CATEGORÍAS DEL RPI			
Valor	Categoría	Nº estaciones	%
Entre 0,1 y 0,15	Datos de alta precisión	20	76,92
Entre 0,15 y 0,25	Datos de precisión tolerable	1	3,85
Entre 0,25 y 1	Datos sin precisión	5	19,23

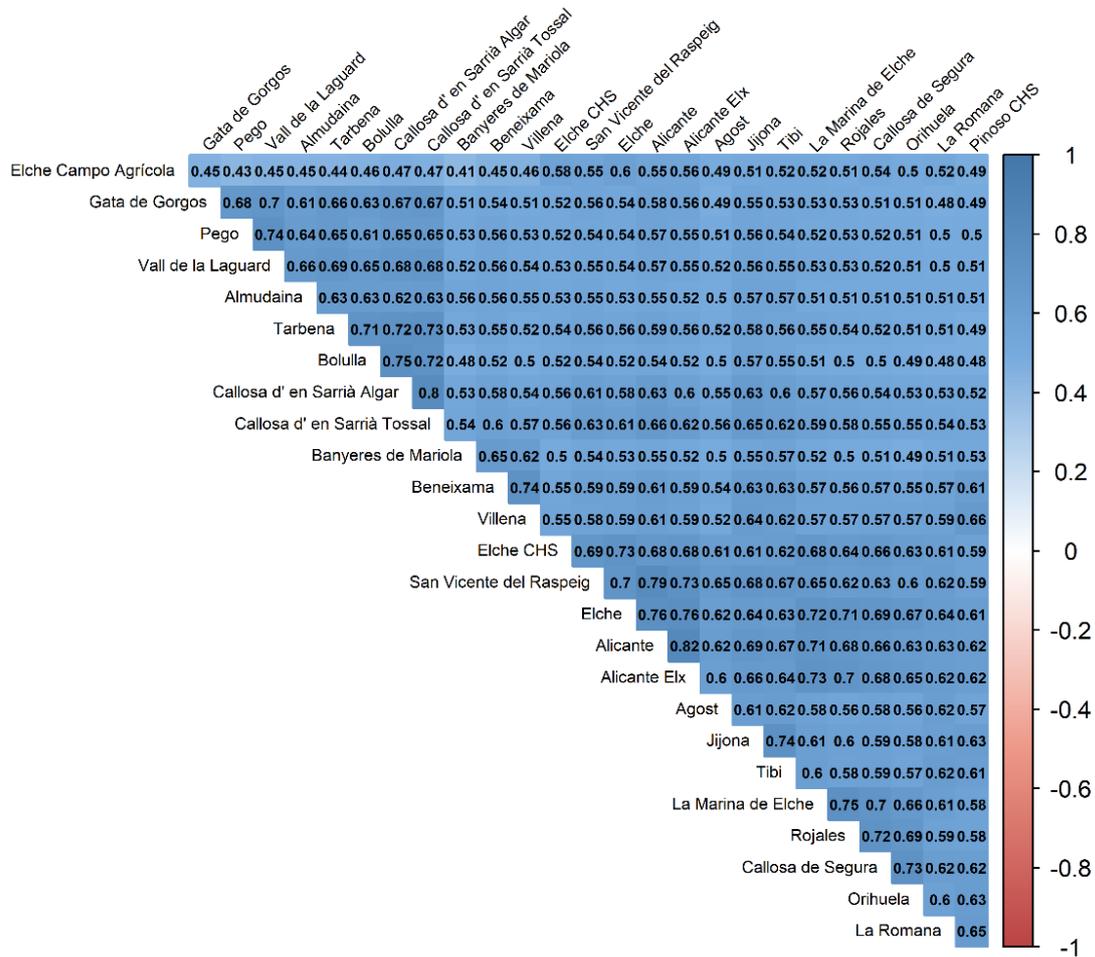
Fuente: elaboración propia

Los resultados del cálculo del RPI establecen que un total de 20 observatorios (76,92 %), de los 26 contemplados en el análisis, contienen datos de alta precisión. Solo uno de los observatorios (3,85 %) presenta datos de precisión tolerable. Por último, los observatorios que presentan datos sin precisión según este índice son 5 (19,23 %) del total. Debido a que este método de análisis de la calidad es uno de los más selectivos en comparación con otros test de homogeneidad absoluta, como el de von Neumann y Thom (Meseguer-Ruiz & Sarricolea, 2017), se ha optado por no rechazar los observatorios que superan el umbral de 0,25, debido a que dichos resultados no influyen en el tratamiento estadístico que se pretende, que tiene como objetivo analizar la cantidad de días de precipitación según umbrales de cantidad precipitada y analizar la evolución del número de eventos extremos (≥ 100 mm/día) para la serie 1981–

2020. Además, estos observatorios considerados con datos sin precisión permiten que la distribución espacial en la provincia sea más homogénea, y si se eliminaran aumentaría el vacío espacial.

No obstante, se ha comprobado el grado de correlación entre las estaciones, ya que valores muy bajos en alguna de ellas podrían generar sospechas. El método de correlación se llevó a cabo con el software Rstudio usando el paquete *corrplot* y el coeficiente de correlación de Spearman, puesto que la variable no presenta una distribución gaussiana. A simple vista se puede observar en el correlograma (Figura 2) que la correlación entre todas las estaciones es positiva, ya que todos los valores son superiores a 0. Además, según el cálculo del *p valor* ($< 0,01$), son significativas al nivel de confianza del 99 %. Hay que diferenciar 3 sectores de alta correlación, que en gran medida corresponden a los observatorios más próximos entre sí. Por un lado, hay que destacar la elevada correlación entre los 8 observatorios situados más al norte de la provincia (de norte a sur en el eje diagonal del correlograma: Gata de Gorgos, Pego, Vall de Laguard, Almodaina, Taberna, Bolulla, Callosa d' en Sarrià–Algar y Callosa d'en Sarrià–Tossal); por otro lado, la correlación entre los 5 observatorios ubicados en el interior-centro de la provincia (de norte a sur en el eje diagonal del correlograma: Banyeres de Mariola, Beneixama, Villena, Jijona y Tibi). Por último, los 13 observatorios ubicados en el centro provincial (de norte a sur en el eje diagonal del correlograma: Elche Campo Agrícola, Elche CHS, San Vicente del Raspeig, Elche, Alicante y Alicante Elx, Agost, La Marina de Elche, Rojales, Callosa de Segura, Orihuela, La Romana y Pinoso CHS.). La distribución de correlaciones da cuenta de la variabilidad pluviométrica existente entre el norte y sur de la provincia de Alicante. Esto es debido a dos factores: el primero es la distancia existente entre los pluviómetros más septentrionales y los meridionales, y el segundo factor diferenciador reside en la disparidad de los días con precipitación registrados, siendo el máximo de 2185 en Gata de Gorgos, de los cuales 37 fueron eventos torrenciales con registros ≥ 100 mm/día, y el mínimo en Orihuela con 1755, de cuales solo 5 días registraron dicho umbral.

Figura 2. Coeficiente de correlación de Spearman entre las precipitaciones diarias de los 26 observatorios analizados en la provincia de Alicante (1981–2020)



Fuente: elaboración propia

La metodología seguida para el análisis de los umbrales se llevó a cabo mediante el software Rstudio, realizando un filtrado y extracción del número de días con precipitación apreciable por observatorio (mes y año), para obtener el número de días de precipitación con base en los siguientes umbrales:

- Número de días con precipitación $\geq 0,1$ mm
- Número de días con precipitación ≥ 10 mm
- Número de días con precipitación ≥ 30 mm
- Número de días con precipitación ≥ 50 mm
- Número de días con precipitación ≥ 100 mm

De cada observatorio se seleccionaron los eventos iguales o superiores a 100 mm/día, que son los considerados en este trabajo como eventos extremos. Como ejemplo el observatorio de la ciudad de Alicante (Tabla 5):

Tabla 5. Eventos extremos en el observatorio de la ciudad de Alicante

Alicante	mm/día
19/10/1982	220,2
04/09/1989	109,9
01/12/1989	119,8
30/09/1997	270,2
28/09/2009	131
13/03/2017	112,2

Fuente: elaboración propia a partir de AEMET

Obtenidos los eventos extremos de los 26 observatorios (vid. Anexo 1), se clasificaron dichos episodios según el mes de ocurrencia, pero, teniendo en cuenta que el mismo evento pudo ser registrado por diversos observatorios de la provincia para una misma fecha, se realizó un filtrado total por año y mes para agrupar aquellos episodios que se repetían en diversos observatorios. De esta manera, se dispone, como resultado final, del número de fechas o días en que se registraron eventos extremos por año, mes y decena del mes, para realizar una evolución temporal anual. De la evolución de extremos en escala temporal anual y por decena del mes se calcula la media móvil con el intervalo de 3 en 3 en el primer caso, y de 7 en 7 para el segundo, eliminando así las irregularidades no significativas, fruto del azar, pero sin ocultar aquellas que sí presentan comportamientos climáticos significativos (Martín Vide, 2003, pp. 78-79). Para determinar si existe o no significancia estadística en la evolución de los extremos de precipitación, se aplica el test no paramétrico de Mann-Kendall. Para el cálculo, se ha utilizado el macro *Makesens 1.0* desarrollado por el Instituto Meteorológico Finlandés en 2002.

3 Resultados

3.1 Umbrales de precipitación diaria

En el presente apartado se analiza el número de días de precipitación para el periodo 1981–2020, estableciendo cinco umbrales de intensidad: 0,1 mm/día, 10 mm/día, 30 mm/día, 50 mm/día y 100 mm/día. Para ello, como ya se ha indicado, se filtró la base de datos diarios de precipitación por observatorios, por años y meses. En la tabla 6, se representa el número de días correspondientes a cada umbral, siendo la primera columna (P0,1) el número de días que registran lluvias entre los umbrales 0,1 – 9,9 mm/día. La segunda columna (P10)

hace referencia a los días de precipitación observados entre los umbrales 10 – 29,9 mm/día, etc. Si se muestran los datos por umbrales acumulados, la columna P0,1 se correspondería con el total, ya que en esa columna se representarían todos los días con lluvia. Se puede apreciar el claro contraste, en cuanto a días de precipitación se refiere, entre el elevado número de días con cantidades pequeñas, inferiores a 9,9 mm/día, frente al reducido número de días con eventos extremos iguales o superiores a 100 mm/día. Los observatorios que registran más de 2000 días de precipitación en la clase 0,1-9,9 mm/día se corresponden con los de Alicante (2009 días), Alicante-Elche/Aeropuerto (2010 días) y Villena (La Vereda) (2001 días), lo que en algunos casos da cuenta de que la medición es muy fina, como en Alicante o Alicante-Elche/Aeropuerto, porque los observadores son cualificados y los instrumentos de medición son de gran calidad. El observatorio de Bolulla (904 días) es el que menos días de precipitación registra en esta clase. Para la clase 10–29,9 mm/día los observatorios con más de 450 días de precipitación son La Vall de Laguard Fontilles (494 días), Almudaina (457 días), Gata de Gorgos (456 días) y Pego (454 días); por contra, Elche Campo Agrícola (222 días), Orihuela y Elche CHS (221 días) son los registros minoritarios en esta clase. Las estaciones meteorológicas que para la clase 30–49,9 mm/día presentan mayor cantidad de días se corresponden con la Vall de Laguard Fontilles (161 días), Almudaina y Tárbenas (136 días) y Pego y Gata de Gorgos (135 y 132 días, respectivamente). En cambio, Elche Campo Agrícola contabiliza el menor registro (26 días). Para el umbral 50 – 99,9 mm/día, es el observatorio de la Vall de Laguard Fontilles el que más días de precipitación registra con 116 días, seguido de Pego con 111 días. Algunos de los que superan los 40 días con eventos iguales o superiores a 100 mm/día son Tárbenas (59 días), Pego (48 días), La Vall de Laguard Fontilles (46 días) y la Almudaina (42 días). A diferencia de estos, Jijona, Villena y Pinoso CHS solo cuentan con un día de precipitación \geq 100 mm/día, para el periodo de estudio de 40 años.

Si se analizan los datos resultantes de filtrar la base de datos por umbrales de precipitación y año (Tabla 7), obtenemos los días de precipitación registrados por todos los observatorios para el periodo de estudio. Para la clase 0,1-0,9 mm/día fue el año 2010 el que registró mayor número de días de precipitación, 1465 días para el conjunto de las series. En las siguientes dos clases, 10-29,9 mm/día y 30-99,9 mm/día, es el año 1989 el que cuenta con las cifras máximas, siendo 373 y 86 días, respectivamente. En los umbrales superiores a 50 y 100 mm/día el año que obtuvo mayores registros fue 2019 con 61 y 29 días, respectivamente. En cuanto a las cifras totales hay que destacar que 1989 fue el año que más días de precipitación registró en todos los observatorios, ascendiendo a 1912 días.

Tabla 6. Número de días de precipitación, según umbral, de los observatorios de la provincia de Alicante (1981–2020)

ID	NOMBRE	P0,1 (0,1-9,9 mm/día)	P10 (10-29,9 mm/día)	P30 (30-49,9 mm/día)	P50 (50-99,9 mm/día)	P100 (≥ 100 mm/día)	TOTAL
1	AGOST ESCUELA NACIONAL	1039	271	44	17	3	1374
2	ALICANTE	2009	253	46	12	6	2326
3	ALICANTE- ELCHE/AEROPUERTO	2010	251	38	14	2	2315
4	ALMUDAINA	1056	457	136	87	42	1778
5	BANYERES DE MARIOLA	1140	430	86	46	6	1708
6	BENEIXAMA CASA CRESPO	1923	411	57	32	3	2426
7	BOLLULLA	904	399	126	74	33	1536
8	CALLOSA DE SEGURA	1490	253	58	20	3	1824
9	CALLOSA DEN SARRIA EL ALGAR	1396	356	106	66	25	1949
10	CALLOSA DEN SARRIA TOSSAL DE SALOMÓ	1669	357	101	61	13	2201
11	ELCHE	1865	225	39	13	3	2145
12	ELCHE CH SEGURA	1103	221	43	14	5	1386
13	ELCHE CAMPO D AGRICOLA	1091	222	26	15	3	1357
14	GATA DE GORGOS	1473	456	132	87	37	2185
15	JJONA	1690	352	40	20	1	2103
16	LA MARINA DE ELCHE	1525	242	44	18	5	1834
17	LA ROMANA ALGESAR	1309	300	51	21	4	1685
18	ORIHUELA LOS DESAMPARADOS	1465	221	48	16	5	1755
19	PEGO CONVENTO	1390	454	135	111	48	2138
20	PINOSO CH SEGURA	1606	286	39	15	1	1947
21	ROJALES EL MOLINO	1896	262	47	21	8	2234
22	SAN VICENTE DEL RASPEIG-ST	1417	242	43	10	6	1718
23	TARBENA CH JUCAR POBLE DE DALT	1317	440	136	92	59	2044
24	TIBI TALECA	1273	387	61	33	7	1761
25	VALL DE LAGUARD FONTILLES	1132	494	161	116	46	1949
26	VILLENA (LA VEREDA)	2001	329	49	17	1	2397

Fuente: elaboración propia a partir de AEMET

Tabla 7. Número de registros de días con precipitación en el conjunto de observatorios según umbral por años de la provincia de Alicante (1981–2020)

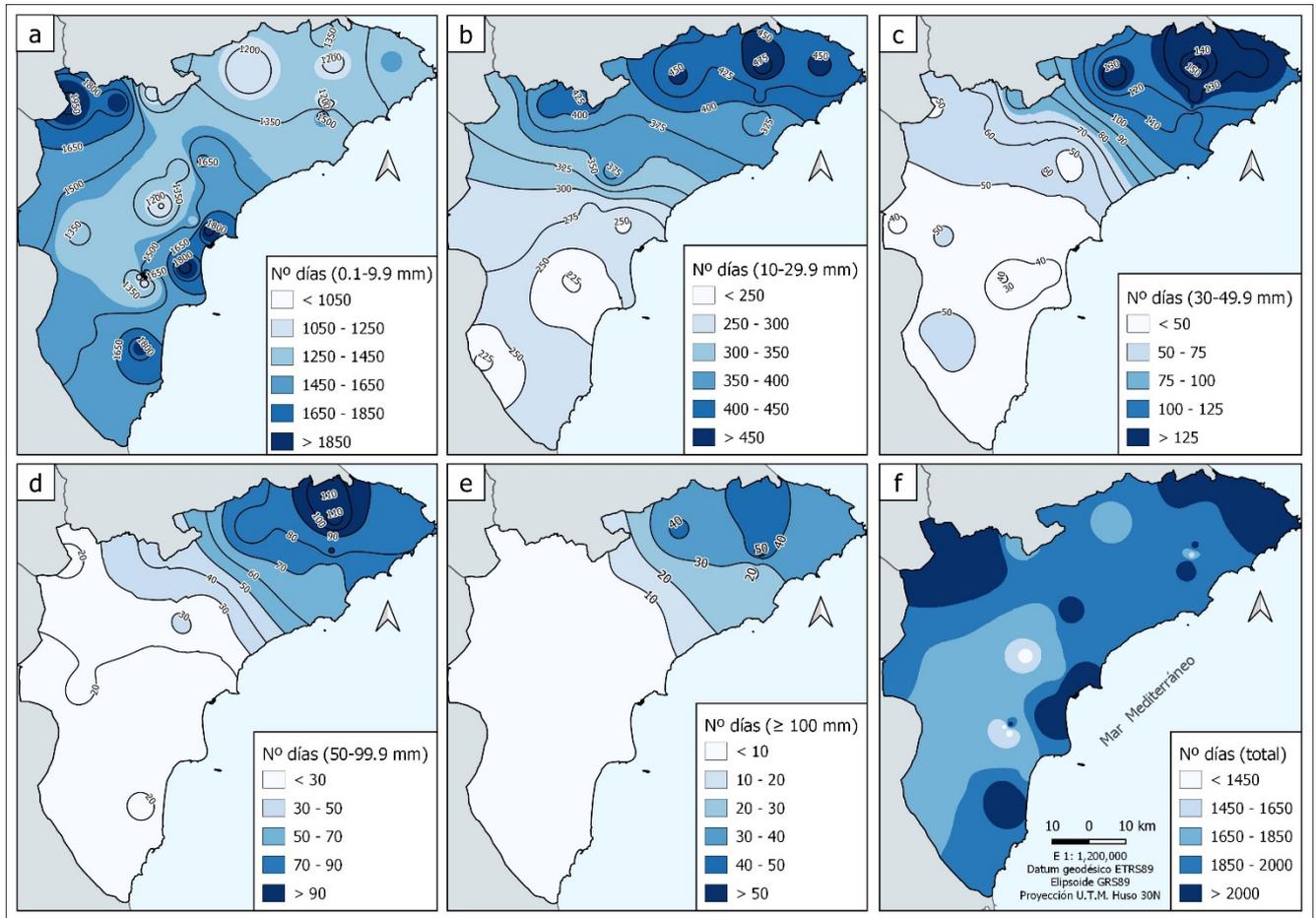
AÑO	P0,1	P10	P30	P50	P100	TOTAL
1981	822	143	28	6	1	1000
1982	730	217	78	43	8	1076
1983	621	132	20	8	0	781
1984	982	191	36	6	2	1217
1985	868	208	33	29	17	1155
1986	919	166	52	31	23	1191
1987	964	182	46	32	15	1239
1988	1027	301	44	23	6	1401
1989	1375	373	86	50	28	1912
1990	1132	321	60	26	2	1541
1991	1035	193	70	37	3	1338
1992	932	195	65	37	23	1252
1993	887	257	61	39	16	1260
1994	652	168	31	8	2	861
1995	834	152	24	21	1	1032
1996	984	244	42	11	3	1284
1997	1200	267	40	35	23	1565
1998	782	170	27	12	0	991
1999	936	175	18	5	3	1137
2000	794	99	25	17	9	944
2001	1020	298	69	19	2	1408
2002	1071	200	40	15	12	1338
2003	1018	223	61	30	12	1344
2004	989	261	41	39	13	1343
2005	894	166	23	4	0	1087
2006	944	261	56	20	6	1287
2007	1095	332	78	59	20	1584
2008	1157	272	65	18	4	1516
2009	1108	262	63	38	23	1494
2010	1465	255	51	21	5	1797
2011	1087	197	52	38	10	1384
2012	756	200	44	38	11	1049
2013	771	248	46	16	7	1088
2014	834	136	20	7	0	997
2015	893	160	45	25	0	1123
2016	904	206	47	23	11	1191
2017	666	107	59	49	14	895
2018	1224	210	47	32	0	1513
2019	744	212	61	61	29	1107
2020	1073	211	38	20	11	1353

Fuente: elaboración propia a partir de AEMET

3.2 Distribución espacial del número de días de precipitación

Si se atiende a la distribución espacial del número de días de lluvia (Figura 3), en el mapa 3.a se observa la clara predominancia del número de días con cantidades pequeñas de precipitación ($\leq 9,9$ mm/día) en el sur e interior de la provincia. Los mapas b, c, d y e muestran un claro gradiente en dirección noreste-sureste, en el que van disminuyendo los días de precipitación según se incrementa la cantidad del umbral de precipitación; esto se debe a la disposición de los relieves béticos existentes al norte de la provincia de Alicante, que ejercen de barrera orográfica frente a los vientos húmedos de gregal (NE), que caracterizan el polo húmedo de la provincia (Quereda Sala & Montón Chiva, 2019, p. 77). Esta disposición determina que el mayor promedio anual (700–1000 mm) de precipitación se sitúe al norte de Alicante (comarcas de la Marina Alta y Baixa, y la Safor); por el contrario, en el sur de la provincia, a sotavento de los vientos de gregal, se sitúa el mínimo pluviométrico (300 mm) que se localizaría en la mitad sur de las comarcas del Medio Vinalopó y L'Alacantí, Bajo Vinalopó y Bajo Segura (Núñez Mora, 2019, p. 139). Se observa, además, una clara diferencia entre la figura 3.a y 3.b, pues, en esta última, los observatorios de la mitad norte de la provincia de Alicante son los que registran mayor número de días de precipitación. Existe un claro contraste entre el sur, donde los observatorios consignan más días de precipitación en la clase inferior (Figura 3.a), y el norte de Alicante, donde las estaciones meteorológicas contabilizan el mayor número de días con eventos extremos (Figura 3e).

Figura 3. Número de días de lluvia según umbrales en la provincia de Alicante (1981–2020)



Fuente: elaboración propia

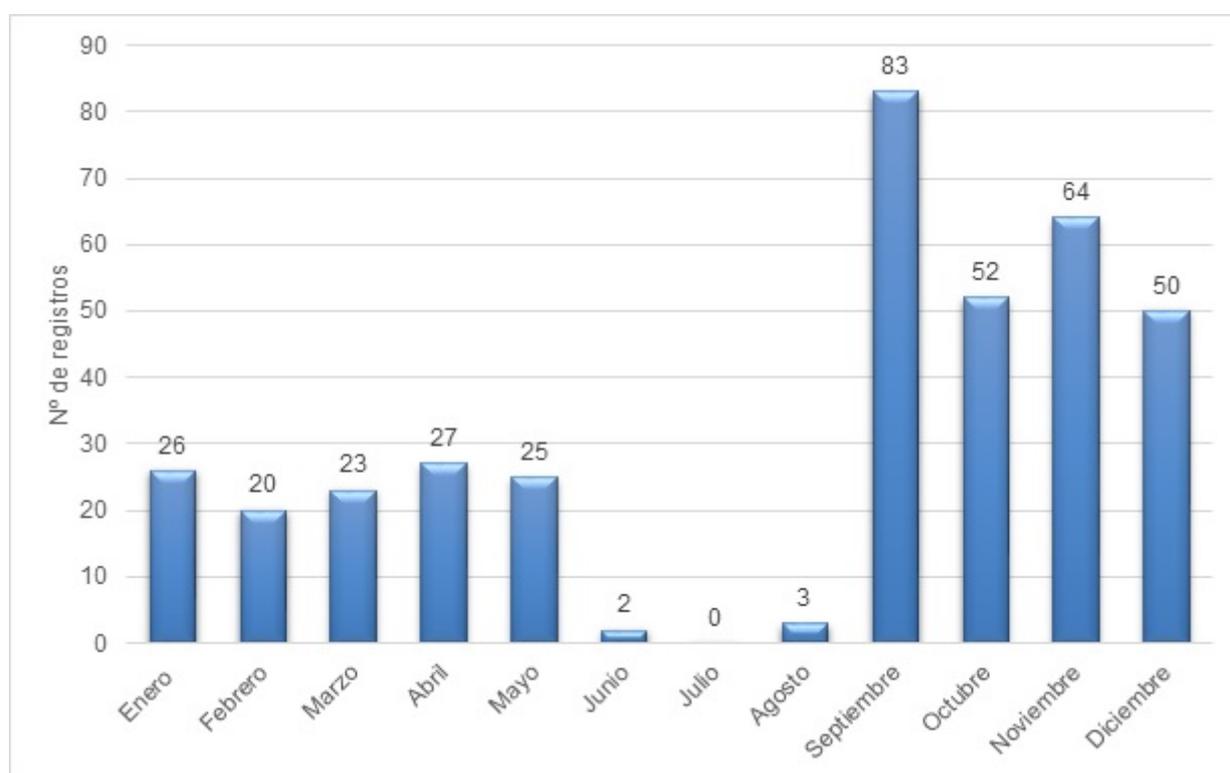
3.3 Calendarios climáticos

En el análisis de eventos extremos se ha estimado conveniente emplear la metodología propuesta por Martín-Vide (2003, p. 77) relativa a los calendarios climáticos, que tienen como objetivo representar una variable climática con resolución diaria.

Con el interés de analizar los episodios extremos, se escogieron los eventos registrados durante todo el periodo de 1981–2020, utilizando como umbral de intensidad ≥ 100 mm/día. La cifra inicial (columna P100 de la Tabla 7) del primer filtrado se corresponde con los eventos ≥ 100 mm/día observados en todas las estaciones meteorológicas (Anexo 2). Se obtuvieron 375 registros por encima del umbral, clasificados, en el Anexo 2, por observatorio y mes de ocurrencia. Si se atiende a la distribución mensual, destaca ampliamente el número de registros totales en el mes de septiembre, con 83 registros, mes otoñal, como es característico del clima mediterráneo de la franja oriental de la península ibérica (Figura 4).

En este caso la variable a representar son los eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día), con resolución diaria y con régimen mensual, pero debido a la gran variabilidad en la frecuencia de registro de la variable se ha considerado más conveniente presentar los calendarios por cifras totales anuales con diferenciación en dos subperiodos de 20 años (Anexo 3), totales mensuales y la distribución de los totales mensuales según la decena del mes (Anexo 4). De esta manera se puede analizar la probabilidad de ocurrencia de los valores extremos en el transcurso del año (Soler Temprano & Martín Vide, 2002).

Figura 4. Número total de registros extremos (≥ 100 mm/día) en el conjunto de observatorios de la provincia de Alicante (1981–2020)



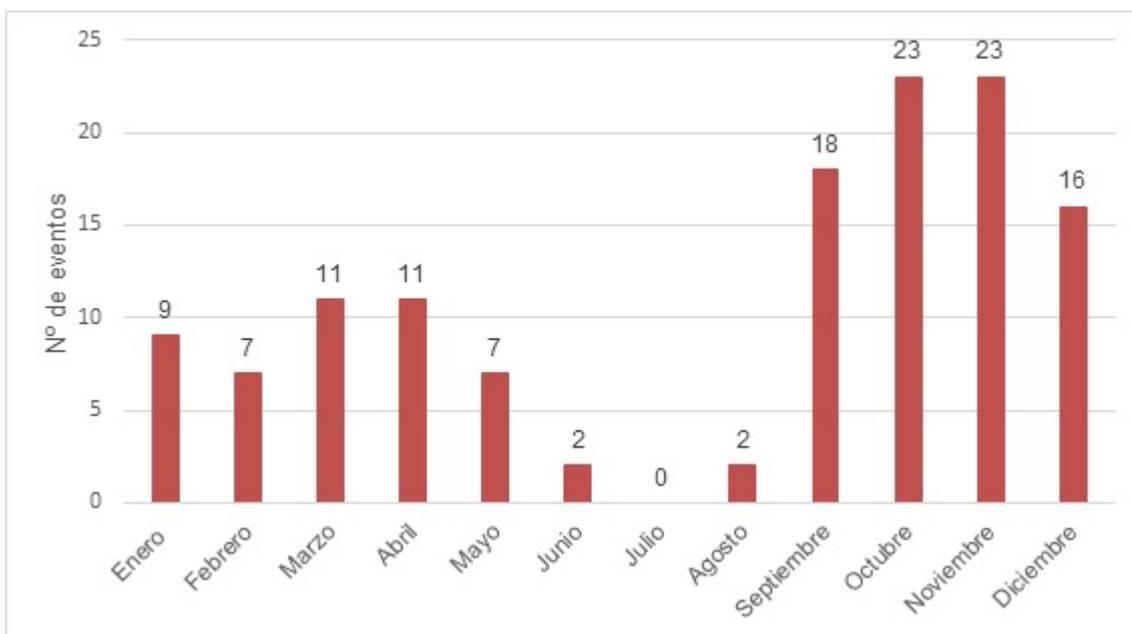
Fuente: elaboración propia a partir de AEMET

El siguiente paso fue depurar los registros totales por fechas, ya que un mismo evento es registrado por varios observatorios en el mismo día, resultando que los 375 registros quedan agrupados en 129 días. Por tanto, para una serie compuesta por 14 610 días, tan solo en 129 días (0,88 % del total) se produjeron eventos extremos ≥ 100 mm/día.

En cuanto a la distribución mensual, los eventos durante toda la serie se concentran, principalmente, en la época otoñal (Figura 5): septiembre, con 18 extremos, y octubre y noviembre con 23 extremos en cada caso. No se puede afirmar que haya una preponderancia

absoluta de los eventos extremos en la época otoñal, puesto que también es destacado el mes de diciembre, con 16 extremos. En primavera destacan los valores de los meses de marzo y abril, con 11 eventos cada uno. Hay que destacar que, para el periodo de 40 años, en ninguno de los 26 observatorios analizados se registraron eventos extremos durante el mes de julio.

Figura 5. Número de eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) por meses para la provincia de Alicante (1981–2020)



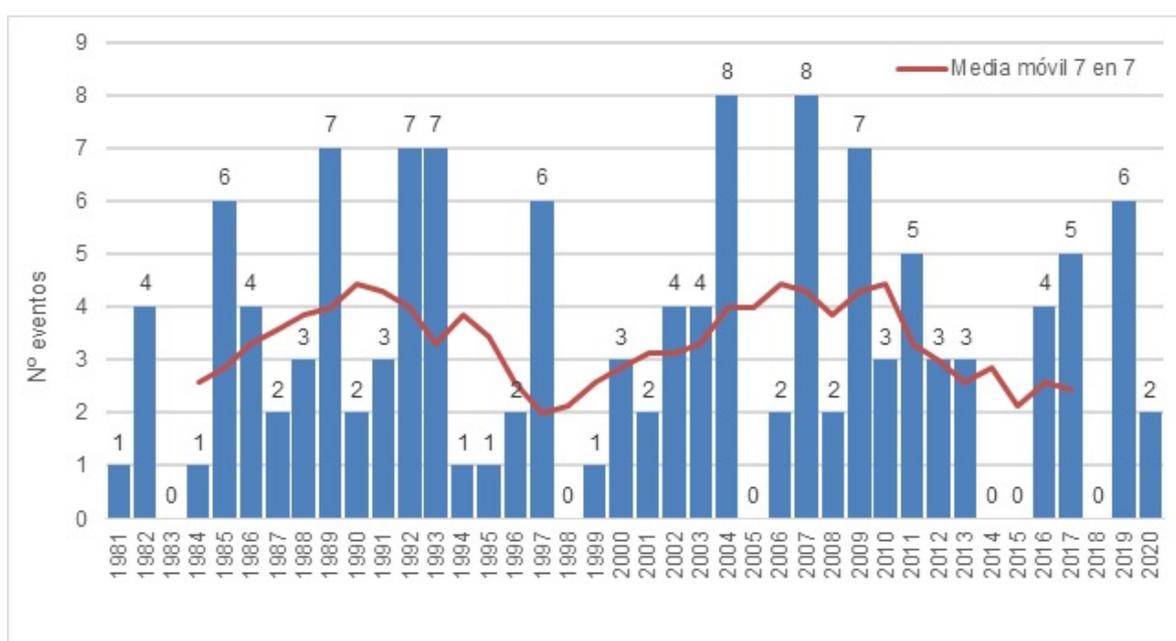
Fuente: elaboración propia a partir de AEMET

En el Anexo 4 se muestra la distribución interanual de los eventos extremos en la provincia de Alicante para el periodo de 40 años. En esta distribución decenal destaca el tercer cuatrimestre del año con predominancia de la última decena del mes de octubre (14 eventos), del día 21 al 31. En cuanto a los meses de noviembre y diciembre, es en la segunda decena del mes, del día 11 al 20, cuando se registran mayor número de episodios. Al igual que ocurre con los meses de enero, febrero, marzo, junio y agosto, aunque en menor cuantía. Solo en el mes de mayo predominan los eventos extremos en la primera decena del mes, de los días 01 al 11. En cuanto a la media móvil en intervalos de 3 en 3, el tercer cuatrimestre del año es el predominante, con pico en la primera decena de noviembre con valor medio de 10,3. Además, se observan dos picos secundarios, uno en la segunda decena del mes de septiembre con valor medio de 6 y otro en la última decena del mes de abril con valor medio de 4,7.

3.4. Evolución del número de días de precipitación extrema

Si se atiende a la distribución anual de los eventos extremos observados en la provincia para el periodo 1981–2020, se observa la cantidad de días de sierra que generan las irregularidades debido al azar. Para suplir dichas irregularidades se hallan las medias móviles centradas en cada año con intervalos de 7 en 7 (Figura 6) (Martín Vide, 2003, p. 78). Si se hace referencia a los valores absolutos, la primera década del presente siglo estuvo marcada por un gran número de eventos extremos en el periodo de 2001-2010, donde se produjeron 40 episodios extremos, siendo los años 2004, 2007 y 2009 los de mayores registros. En segundo lugar, las décadas de los años noventa y ochenta del siglo pasado registraron prácticamente el mismo número de extremos, 31 y 30, respectivamente. En la primera, los años en los que acontecieron mayor número de eventos extremos fueron 1992 y 1993, con 7 episodios, y 1997 con 6. La segunda presenta dos máximos en los años 1985, con 6 episodios, y 1989 con 7. Por último, la década de 2011–2020 presenta un reparto más equitativo de los episodios, aunque con ausencia total de estos en los años 2014, 2015 y 2018 (Anexo 4). La media móvil refleja la suavidad de la evolución de los eventos extremos donde se diferencian dos curvas de ascenso, a finales de la década de 1980 y principios de la de 1990, con pico en 1990 (valor medio de 4,43), y a mediados de la primera década del presente siglo hasta el inicio de la segunda década, con pico en los años 2006 y 2010 (valor medio de 4,43).

Figura 6. Eventos extremos (≥ 100 mm/día) por años en la provincia de Alicante (1981–2020)



Fuente: elaboración propia a partir de AEMET

Por último, para detectar si existe una tendencia con significancia estadística en la evolución anual del número de extremos para el periodo dado de 1981–2020, se ha aplicado como ya se ha indicado el test no paramétrico de Mann-Kendall. En este caso, la evolución del número de episodios extremos para el periodo completo de 40 años ($n=40$, 1981-2020) presenta una significancia estadística dudosa, con menos de un 90 % de significación ($> 0,1$). Los subperiodos 1981-2000 ($n=20$) y 2001–2020 ($n=20$) no tienen significación estadística, al igual que tampoco la tiene la evolución por décadas ($n=10$). Solo se han encontrado dos evoluciones temporales que presentan significación estadística: el periodo 1981-1993 ($n=13$), con un 95 %, y el comprendido entre 1994-2010 ($n=17$) con un 90 %. Para estos dos últimos subperiodos es posible afirmar que existe una tendencia positiva significativa en el número de eventos extremos.

4 Discusión

En el estudio de eventos de precipitación extrema un problema recurrente ha sido la presencia de lagunas en las series diarias de precipitación, un inconveniente al que se ha tratado de dar solución en los últimos tiempos. Para ello, se han implementado diferentes metodologías, desde las más tradicionales (Romero et al., 1998) basadas en modelos de interpolación lineales con estaciones vecinas, hasta las investigaciones más recientes en las que predominan diferentes métodos (lineales, no lineales e híbridos) de reconstrucción de las series de precipitación (Miró et al., 2017), e incluso nuevas herramientas como el paquete del software de *Rstudio* denominado *reddPrec* (Serrano-Notivoli et al., 2017b). Para el presente trabajo se planteó, en un primer momento, la posibilidad de reconstruir las series diarias de precipitación mediante el método propuesto por Serrano-Notivoli et al. (2017b), pero, tras los análisis de calidad expuestos anteriormente con criterios exigentes en la selección de observatorios, se consideró que no sería necesario reconstruir las series para cumplir los objetivos propuestos. Empero, se realizó un ensayo metodológico de relleno de las series de los 26 observatorios mediante la metodología de Serrano-Notivoli et al. (2017b). Este método desarrolla un análisis de calidad propio que elimina los valores sospechosos según cinco criterios establecidos, y, pese a la improbabilidad de la pérdida de valores extremos (Serrano Notivoli, 2016, p. 45), se pudo comprobar, por ejemplo, la pérdida de un evento extremo en el observatorio de Fontilles, el 4 de diciembre de 1997, donde se registraron 400 mm/día, para el que la situación sinóptica en dicho día avala la posibilidad de que así fuera; además, los dos observatorios más próximos a este, Pego y Tárben, registraron 102,6 mm y 250 mm, respectivamente.

En el presente artículo se ha realizado un análisis de los eventos diarios de precipitación extrema desde diferentes perspectivas. En primer lugar, se ha clasificado el número de días de precipitación según los umbrales, para cada uno de los observatorios. La representación cartográfica de dicha clasificación da cuenta de la diversidad pluviométrica existente entre el norte y sur de la provincia, especialmente, en el caso de los eventos extremos (≥ 100 mm/día). Este análisis espacial coincide con los resultados aportados por Estrela et al. (2000), en los que se detalla la distribución espacial, pero, en este caso, de los valores máximos de precipitación diaria (para la serie 1971–2000) para la Comunidad Valenciana, que predominan en el norte de la provincia de Alicante y sur de Valencia.

Como ya se ha expuesto, el número de registros extremos (≥ 100 mm/día) resultante en esta investigación es del orden de 375, depurados en 129 eventos, para la serie 1981-2020, que se concentran mayoritariamente en otoño (70 eventos), seguido del invierno (32 eventos) y la primavera (29 eventos), y, por último, el verano (4 eventos). A escala de la Comunidad Valenciana, el análisis de Estrela et al. (2002, pp. 45-49) establece umbrales de precipitación para el análisis de los eventos extremos en >350 mm, >250 mm y >175 mm y contabiliza para la serie 1971–2000, 24 registros superiores a 350 mm y 80 registros superiores a 250 mm. Según los patrones de clasificación en la distribución espacial de la precipitación máxima diaria propuesta por Estrela et al. (2002, pp. 49-50), la provincia de Alicante se ubica dentro del tipo “Máximos centrados en el extremo sur de la Comunidad”. Los autores seleccionan las series diarias de precipitación completas con más de 10 años para el periodo 1971–2000, y para dicha clasificación filtran los eventos >125 mm/día registrados en más de 6 observatorios simultáneamente, obteniendo bajo estos criterios 31 eventos distribuidos estacionalmente en el mismo orden de importancia que el de los resultados de la presente investigación, en otoño (23 eventos), en invierno (5 eventos) y en primavera (3 eventos). Bajo los mismos criterios de selección y área de estudio, pero para el periodo 1971–1995, Peñarrocha et al. (2002, p. 681) obtuvieron 899 registros por encima del umbral establecido en 125 mm/día, agrupados en 168 días, pero solo seleccionaron los 21 eventos representados en más de 6 observatorios, concentrados la mayoría en otoño (19 eventos), y solo algunos en invierno (4 eventos) y en primavera (3 eventos). Por tanto, podemos determinar que la época otoñal es la predominante en el registro de los valores más extremos de precipitación. En un estudio relativo a la costa valenciana para el periodo 1971–1995, usando un umbral de 125 mm/24 h y utilizando metodologías informáticas convencionales, se obtuvieron 910 registros, y fueron 34 eventos los que superaron el citado umbral de precipitación (Estrela et al., 2000).

También a escala regional valenciana, Núñez Mora (2019, p. 141), para el periodo de estudio 1919–2018, examina los episodios diarios con características torrenciales (200 mm en 24h) registrados en algunas de las estaciones pertenecientes a la red de AEMET en territorio valenciano, obteniendo 122 episodios, de los cuales ninguno ha sido registrado en el mes de julio. Este resultado coincide con el del presente análisis, donde en la distribución mensual no se ha contabilizado ningún evento extremo en dicho mes.

En la actualidad las investigaciones sobre eventos extremos de precipitación centran su interés en las tendencias de estos fenómenos. Si se valora la significancia estadística de la secuencia temporal del número de extremos resultante en este trabajo, no se puede afirmar que exista una tendencia de aumento o disminución de eventos. Cabe matizar que dichos resultados están condicionados por los observatorios seleccionados y el periodo de estudio. Estudios realizados en la costa del levante español (Peñarrocha et al., 2002) muestran el aumento del número de extremos en el periodo 1971-1995. Otros investigadores centran sus objetivos en analizar los índices de extremos (ETCCDI-*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*) para la detección del cambio climático en España empleando 12 858 observatorios con alta resolución espacial, que muestran mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos en el litoral mediterráneo (Serrano-Notivoli et al., 2017a; Serrano-Notivoli et al., 2018b). En cambio, para el sureste español, Valdés-Abellán et al. (2017) seleccionan 6 estaciones de la red de AEMET en la citada región y hallan una tendencia general a la reducción de los días > 40 mm/día en 5 de las 6 estaciones. Además, observaron que con el aumento del umbral los cambios eran más importantes, con tendencia creciente en una estación y decreciente en el resto. Para la provincia de Alicante, el análisis de los 11 índices de extremos de precipitación (ETCCDI) con base en 243 observatorios reconstruidos determinó que los días con precipitaciones mayores a 10 mm y 20 mm presentan diferentes tendencias espaciales con valores negativos (Moutahir et al., 2014).

5 Conclusiones

La presente investigación ha permitido conocer la distribución de los días de precipitación según umbrales para la serie de 40 años más reciente en el territorio alicantino, tanto en la dimensión espacial como temporal. En la dimensión espacial se observa una gran diversidad entre el sur de la provincia, donde son más numerosos los episodios de baja intensidad, y el norte, donde son más recurrentes los episodios de alta intensidad, dando como resultado un fuerte gradiente en dirección noreste-sureste condicionado por la disposición orográfica y la influencia de los vientos húmedos del NE. Se reafirma que el norte de la provincia de Alicante es una de las

áreas con mayor recurrencia de eventos de lluvias torrenciales del litoral mediterráneo. En cuanto a la dimensión temporal, hay que destacar los resultados obtenidos para el año 1989, siendo el año con el mayor número de días de precipitación registrados, al igual que el mayor en las clases 10-29,9 mm/día y 30-99,9 mm/día.

El número de extremos acontecido en el territorio alicantino para los 26 observatorios y en el periodo de 40 años ha sido de 129, pero atendiendo a su evolución temporal no se puede afirmar que exista una tendencia clara al incremento de estos eventos, debido a que la evolución no presenta significancia estadística. A este respecto, hay que destacar que, de momento, no se aprecia el aumento de la frecuencia y severidad de estos eventos extremos, derivado del calentamiento global, en el área de estudio, como sí afirma en su último informe para la región mediterránea el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.

Los calendarios climáticos ejemplifican el régimen pluviométrico característico del área de estudio. En el reparto estacional de los eventos torrenciales destacan los meses de octubre y noviembre, siendo el máximo en otoño, y el mínimo en verano, particularmente en el mes de julio donde no se ha registrado ningún evento de los analizados en esta investigación. En la distribución de eventos por decenas del mes destaca el tercer cuatrimestre del año, con pico en la tercera decena del mes de octubre. El otoño ha sido el periodo que siempre se ha fijado como característico para el acontecimiento de lluvias de fuerte intensidad horaria en la región mediterránea, pero actualmente puede desarrollarse en cualquier época del año, como puede extraerse de los resultados aportados en esta investigación donde el número de eventos extremos en invierno y primavera también es elevado.

6 Reflexión final

Este trabajo completa el conocimiento existente sobre la precipitación extrema en la provincia de Alicante, y complementa los estudios realizados sobre eventos de precipitación torrencial en el área del levante español. Los resultados, no obstante, están condicionados por dos factores: el primero, el área de estudio, que se circunscribe a la provincia de Alicante, una pequeña porción de territorio con gran diversidad pluviométrica, y que se incluye en un espacio climático más amplio; el segundo factor está relacionado con los criterios establecidos para la selección de observatorios y su tratamiento de forma íntegra. En este sentido, la determinación de un umbral de ≥ 100 mm/día puede sesgar los resultados, que serían más numerosos si el umbral se fijara en ≥ 75 mm/día o ≥ 50 mm/día. Además, hay que tener en cuenta que la intensidad

de la precipitación, es el factor determinante para que cualquier episodio de lluvias ocasione una inundación.

Por tanto, si atendemos a los resultados de estudios, como el mencionado IPCC 2022, en los que se abarca una porción del territorio mucho más amplia, también en nuestro ámbito las ciudades deben adaptarse a los efectos del cambio climático, que previsiblemente tendrá como consecuencia directa en el futuro próximo una mayor ocurrencia de eventos torrenciales. Estos suponen un verdadero problema para las áreas urbanas del sureste peninsular, que no están preparadas para gestionar grandes volúmenes de escorrentía. Cada vez son más frecuentes las inundaciones urbanas con episodios de lluvias intensas, entre 50-100 mm en 1 o 2 horas, debido a la escasa adaptación de las ciudades de la provincia, que llegan a experimentar anegamientos de áreas urbanas sin acontecer episodios de carácter torrencial.

A pesar de ello, los resultados de esta investigación sobre la evolución de los eventos extremos y su frecuencia de ocurrencia pueden aportar un valor añadido a la planificación territorial y a la gestión de los recursos hídricos de la región. El conocimiento de la pluviometría puede aumentar la resiliencia de los territorios donde acontecen mayor número de eventos extremos, favoreciendo su adaptación a estos, y por consiguiente disminuir los efectos negativos de las inundaciones.

Agradecimientos: Esta investigación es resultado de la obtención de una beca de formación de profesorado universitario (FPUA2019-54) por parte del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Alicante. Esta investigación es el resultado de una estancia de investigación en el Grupo de Climatología de la Universitat de Barcelona, bajo la supervisión del Catedrático Javier Martín Vide, a quien la autora le agradece el periodo de formación y el tiempo de revisión de la investigación. De igual forma, se agradece la ayuda prestada por el doctor Marc Lemus Cánovas durante la citada estancia. La autora agradece al Catedrático Jorge Olcina Cantos y a la doctora Margarita Box Amorós, su ayuda en la revisión de este artículo. Se agradece a la AEMET el conjunto de datos de precipitación diaria proporcionado para este estudio.

Declaración responsable: La autora declara que no existe ningún conflicto de interés con relación a la publicación de este artículo.

Bibliografía

Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661-675.

Ávila Parra, K., & Martín Vide, J. (2013). Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental. *Cuadernos Geográficos*, 52(1), 69-83. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/926>

Benhamrouche, A., & Martín Vide, J. (2011). Distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación en la provincia de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 56(56), 113. <https://doi.org/10.14198/ingeo2011.56.06>

Benhamrouche, A., & Martín Vide, J. (2012). Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España peninsular. *Anales de Geografía*, 32, 11-27. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39306

Bessaklia, H., Serrano-Notivoli, R., Ghenim, A.N., Chikh, H.A., & Megnounif, A. (2021). Extreme precipitation trends in northeast Algeria using a high-resolution gridded daily dataset. *International Journal of Climatology*, 41(15), 6573-6588. <https://doi.org/10.1002/joc.7213>

Bezerra, B.G., Silva, L.L., Santos e Silva, C.M., & De Carvalho, G.G. (2019). Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1-2), 565-576. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2396-6>

Brunet, M., & Jones, P. (2011). Data rescue initiatives: bringing historical climate data into the 21st century. *Climate Research*, 47(1-2), 29-40. <https://doi.org/10.3354/CR00960>

De Luis, M., González-Hidalgo, J.C., Raventós, J., Sánchez, J.R., & Cortina, J. (1997). Distribución Espacial de la Concentración y Agresividad de la lluvia en el territorio de la Comunidad Valenciana. *Cuaternario y Geomorfología*, 11(3-4), 33-44.

De Luís, M., González Hidalgo, J.C., & Sánchez, J. R. (1996). Análisis de la distribución espacial de la concentración diaria de precipitaciones en el territorio de la Comunidad Valenciana. *Cuadernos de geografía*, (59), 47-62.

Estrela, M.J., Millán, M., Peñarrocha, D., & Pastor, F. (2002). *De la gota fría al frente de retroceso*. Centro Francisco Tomás y Valiente y Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.

Estrela, M.J., Peñarrocha, D., Pastor, F., & Millán, M. (2000). Torrential rain events on the Spanish Mediterranean coast: Relationship between spatial precipitation patterns and synoptic conditions. In *Mediterranean Storms. Proceedings of the EGS Plinius Conference* (pp. 97-110). Bios.

Francis, J.A., & Vavrus, S.J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters*, 39(6), 1-6.

<https://doi.org/10.1029/2012GL051000>

Gonzalez, S., & Bech, J. (2017). Extreme point rainfall temporal scaling: a long term (1805–2014) regional and seasonal analysis in Spain. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5068-5079. <https://doi.org/10.1002/joc.5144>

IPCC (2018). *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (Edited by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor & T. Waterfield). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (R. Y. and B. Z. (eds. . Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi (ed.)). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

IPCC (2022). *Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A., & King, L. (2014). Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971-2010. *Weather and Climate Extremes*, 4, 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.WACE.2014.05.001>

- Li, X., Wang, X., & Babovic, V. (2018). Analysis of variability and trends of precipitation extremes in Singapore during 1980-2013. *International Journal of Climatology*, 38(1), 125-141. <https://doi.org/10.1002/IOC.5165>
- Llasat, M. C., del Moral, A., Cortès, M., & Rigo, T. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 257, 105581. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105581>
- Martín-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24(8), 959-971. <https://doi.org/10.1002/joc.1030>
- Martín Vide, J. (2003). *El tiempo y el clima*. Rubens Editorial, S.L.
- Martín Vide, J., & Olcina Cantos, J. (Coords.) (2001). *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial, S. A.
- Meseguer-Ruiz, Ó., López-Bustins, J.A., Arbiol-Roca, L., Martín-Vide, J., Miró, J., & Estrela, M.J. (2018). Episodios de precipitación torrencial en el este y sureste ibéricos y su relación con la variabilidad intraanual de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) entre 1950 y 2016. Ponencia en el XI Congreso de la Asociación Española de Climatología (pp. 53-63). Cartagena, October 17-19. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9882>
- Meseguer-Ruiz, O., & Sarricolea, P. (2017). Detección de inhomogeneidades en series de precipitación diaria en la región centro-sur de Chile. *Interciencia*, 42(4), 242–249. <https://www.redalyc.org/journal/339/33950546008/html/>
- Miró, J. J., Caselles, V., & Estrela, M.J. (2017). Multiple imputation of rainfall missing data in the Iberian Mediterranean context. *Atmospheric Research*, 197, 313-330. <https://doi.org/10.1016/j.ATMOSRES.2017.07.016>
- Moutahir, H., de Luis, M., Serrano-Notivoli, R., Touhami, I., & Bellot, J. (2014). Analisis De Los Eventos Climáticos Extremos En La Provincia De Alicante, Sureste De España. *Cambio Climático y Cambio Global*, 9(October), 457-466. <https://doi.org/10.13140/2.1.1999.4564>
- Núñez Mora, J.Á. (2019). Datos climáticos básicos y récords atmosféricos en la Comunitat Valenciana. In J. Olcina & E. Moltó (Eds.), *Climas y tiempos del País Valenciano* (pp. 137-144). Publicaciones de la Universitat d' Alacant.

Olcina Cantos, J. (2017). Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata: Ciencias Sociais e Humanidades*, 29, 143-163. <https://doi.org/10.15304/s.29.4213>

Olcina Cantos, J., Campos Rosique, A., Casals del Busto, I., Ayanz López-Cuervo, J., Rodríguez Mateos, M., & Martínez Puentes, M. (2018). Resiliencia en el ciclo urbano del agua. Extremos pluviométricos y adaptación al cambio climático en el ámbito mediterráneo. *Universidad de Alicante*, 8. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/76370>

Olcina Cantos, J., & Vera-Rebollo, J.F. (2016a). Adaptación del sector turístico al cambio climático en España. La importancia de las acciones a escala local y en empresas turísticas. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 36(2), 321-352. <https://doi.org/10.5209/AGUC.53588>

Olcina Cantos, J., & Vera-Rebollo, J.F. (2016b). Cambio climático y política turística en España: diagnóstico del litoral mediterráneo español. *Cuadernos de Turismo*, 38(38), 327-363. <https://doi.org/10.6018/TURISMO.38.1471>

Olcina, J., & Biener, S. (2019). ¿Está cambiando el clima valenciano? Realidades e incertidumbres. In J. Olcina & E. Moltó (Eds.), *Climas y tiempos del País Valenciano* (pp. 162-170). Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Peñarrocha, D., Estrela, M.J., & Millán, M. (2002). Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: The Valencia region. *International Journal of Climatology*, 22(6), 677-695. <https://doi.org/10.1002/joc.747>

Petrovic, P. (1998). Measurement Precision As A Cause Of Inhomogeneity In Weather Data Time Series. In *Proceedings From The 2 Nd Seminar On Homogenization Of Surface Climatological Data*. https://www.researchgate.net/publication/285235632_Measurement_Precision_As_A_Cause_Of_Inhomogeneity_In_Weather_Data_Time_Series

Pinilla, M.C., & Pinzón, C. (2010). Caracterización de eventos extremos asociados a la precipitación usando RClindex, en la parte central del departamento de Santander, Colombia. Ponencia en el VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (pp. 593-601). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7336452>

Quereda Sala, J., & Montón Chiva, E. (2019). Los elementos del clima: Distribución territorial de temperaturas y precipitaciones. In J. Olcina & E. Moltó (Eds.), *Climas y tiempos del País Valenciano* (pp. 72-77). Publicaciones de la Universitat d'Alacant.

Ribas Palom, A.M., Olcina Cantos, J., & Sauri Pujol, D. (2020). More exposed but also more vulnerable? Climate change, high intensity precipitation events and flooding in Mediterranean Spain. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 29(3), 229-248. <https://doi.org/10.1108/DPM-05-2019-0149>

Rodríguez Ballesteros, C. (n.d.). *Las estaciones termopluviométricas de la red climatológica de AEMET*. www.divulgameteo.es

Romero, R., Guijarro, J.A., Ramis, C., & Alonso, S. (1998). A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the spanish mediterranean regions: First exploratory study. *International Journal of Climatology*, 18(5), 541-560. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0088\(199804\)18:5<541::aid-joc270>3.0.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0088(199804)18:5<541::aid-joc270>3.0.co;2-n)

Santos, M., Fonseca, A., Fragoso, M., & Santos, J.A. (2019). Recent and future changes of precipitation extremes in mainland Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1-2), 1305-1319. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2667-2>

Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., De Luís, M., Tejedor, E., Longares, L. A., Saz, M. Á., & Cuadrat, J. M. (2018a). Tendencias recientes de los eventos de precipitación diaria y extrema en España (1950-2012). In Asociación Española de Climatología; Agencia Estatal de Meteorología (Ed.), *El clima: aire, agua, tierra y fuego* (pp. 259–266). <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9906>

Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M.Á., & De Luis, M. (2018b). Recent trends reveal decreasing intensity of daily precipitation in Spain. *International Journal of Climatology*, 38(11), 4211-4224. <https://doi.org/10.1002/joc.5562>

Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M.Á., Longares, L.A., & De Luis, M. (2017a). SPREAD: A high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain - An extreme events frequency and intensity overview. *Earth System Science Data*, 9(2), 721-738. <https://doi.org/10.5194/essd-9-721-2017>

Serrano-Notivoli, R., De Luis, M., Saz, M.Á., & Beguería, S. (2017b). Spatially based reconstruction of daily precipitation instrumental data series. *Climate Research*, 73(3), 167-186. <https://doi.org/10.3354/cr01476>

Serrano-Notivoli, R., Martín-Vide, J., Saz, M. A., Longares, L.A., Beguería, S., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., & de Luis, M. (2018c). Spatio-temporal variability of daily precipitation

concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *International Journal of Climatology*, 38(December 2017), e518–e530. <https://doi.org/10.1002/joc.5387>

Serrano Notivoli, R. (2016). *Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: Ensayo metodológico y aplicaciones* (Doctoral dissertation, Universidad Zaragoza).

Soler Temprano, X., & Martín Vide, J. (2002). Los calendarios climáticos. Una propuesta metodológica. In J.A. Guijarro Pastor (Ed.), *El Agua y el Clima* (pp. 577-585). Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/9185>

Štěpánek, P., Zahradníček, P., & Farda, A. (2013). Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961-2010. *Idajaras*, 117(1), 123-141.

Valdés-Abellán, J., Pardo, M.A., & Tenza-Abril, A. J. (2017). Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *International Journal of Climatology*, 37(January), 1285-1296. <https://doi.org/10.1002/joc.4984>

Valdés-Abellán, J., & Úbeda Müller, M. (2020). Revisión de los eventos máximos diarios de precipitación en el dominio climático de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante). In M. I. López-Ortiz & J. (eds. . Melgarejo (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 109-126). Universitat d'Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/109017>

Venema, V.K.C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J.A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Viarre, J., Müller-Westermeier, G., Lakatos, M., Williams, C.N., Menne, M. J., Lindau, R., Rasol, D., Rustemeier, E., Kolokythas, K., ... Brandsma, T. (2012). Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Climate of the Past*, 8(1), 89-115. <https://doi.org/10.5194/CP-8-89-2012>

Vicente-Serrano, S.M., Rodríguez-Camino, E., Domínguez-Castro, F., El Kenawy, A., & Azorín-Molina, C. (2017). An updated review on recent trends in observational surface atmospheric variables and their extremes over Spain. *Cuadernos de Investigacion Geografica*, 43(1), 209-232. <https://doi.org/10.18172/cig.3134>

Anexo I. Eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) en los observatorios de la provincia de Alicante

ID OBS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
21/04/1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108,2	-	-	-	-	-	-	-
29/05/1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/10/1982	191,0	220,2	235,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220,0	-	-	-	-
31/10/1982	-	-	-	124,2	110,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/11/1982	-	-	-	130,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10/11/1984	-	-	-	119,5	129,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21/02/1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	101,0	-	-	-	-	122,0	-	133,0	-	-	-	-	117,0
28/10/1985	-	-	-	117,5	-	-	178,0	-	195,0	-	-	-	-	100,0	-	-	-	-	108,2	-	-	-	-	-	-	158,0
15/11/1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	249,0	-	-	-	-	-	-	108,0
16/11/1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112,0
17/11/1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/12/1985	-	-	-	105,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	103,0	-	-	-	-	-	-	-
29/09/1986	-	-	-	204,0	230,0	110,0	175,0	-	175,0	-	-	-	-	184,5	-	-	-	-	132,8	-	-	-	241,1	-	175,0	-
30/09/1986	-	-	-	160,8	183,0	123,0	143,0	-	216,7	160,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	218,2	-	-	-
16/11/1986	-	-	-	128,0	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17/11/1986	-	-	-	166,4	-	-	130,0	-	160,0	-	-	-	-	112,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143,0
03/11/1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146,8	133,0	129,0	156,5	117,0	-	-	-	371,5	-	-	100,0	-	140,0	-	-
04/11/1987	-	-	-	180,0	-	-	-	190,0	-	-	117,7	101,0	-	-	-	-	121,0	316,0	-	-	116,5	-	-	-	-	-
14/10/1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30/09/1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	206,0	-	-	-	-	180,3	-	-	-	140,5	-	141,0	-
04/11/1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110,0	-
17/03/1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	187,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18/03/1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	142,9	-	-	-	143,6	-	105,0	-
04/09/1989	-	109,9	-	-	152,0	-	120,0	100,0	120,0	-	104,0	112,0	108,5	-	-	111,0	149,0	100,0	128,4	143,0	-	-	255,6	-	144,0	-
05/09/1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201,0	-	-	-	-	101,3	-	180,0	102,2	-	-	-	-
07/09/1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	113,6	-	-
30/11/1989	-	-	-	-	-	-	111,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,7	-	-	-	120,9	-	-	-
01/12/1989	-	119,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/05/1990	-	-	-	-	-	-	-	-	126,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/12/1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	128,0
23/03/1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108,1	-	-	-
23/10/1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143,5	-	-	-
24/10/1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	128,9	-	-	-	-	-	-	-
19/02/1992	-	-	-	-	-	-	114,0	-	120,0	124,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20/02/1992	-	-	-	-	-	-	110,0	-	145,0	130,7	-	-	-	102,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02/03/1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122,9	-	-	-
02/05/1992	-	-	-	104,5	-	-	120,0	-	103,0	-	-	-	-	129,0	-	-	-	-	-	-	-	-	176,5	-	120,0	-
03/05/1992	-	-	-	-	-	-	145,0	-	201,0	-	-	-	-	124,0	-	-	-	-	-	-	-	-	200,0	-	110,0	-
13/06/1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08/10/1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	123,0	-	-	-	-	-	-	-
01/02/1993	-	-	-	240,5	-	-	108,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,6	-	113,0	-
02/02/1993	-	-	-	102,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/10/1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117,0	-	-	-	-	-	-	-
26/10/1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118,5	-	-	-	-	-	-	-
08/11/1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118,7	-	-	-	-	-	-	-
24/11/1993	-	-	-	-	-	-	108,0	-	115,0	-	-	-	-	122,0	-	-	-	-	-	-	-	-	141,7	-	-	-
25/11/1993	-	-	-	100,2	-	-	129,0	-	142,0	114,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162,4	-	-	-
15/04/1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125,0	-	-	-	-	118,2	-	-	-	-	-	-	-
09/12/1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ID OBS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
10/09/1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	186,0	-	-	-	-	-	157,0	-
11/09/1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160,1	-	-	-	-	-	-	-
08/04/1997	-	-	-	-	-	-	107,0	-	230,0	162,5	-	-	-	-	-	-	-	-	101,8	-	-	-	165,5	-	130,0	-
18/06/1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	192,0
30/09/1997	130,0	270,2	-	122,2	-	-	135,0	-	127,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	138,9	-	-	209,5	118,7	122,5	-	-
28/10/1997	-	-	-	-	-	-	104,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162,3	-	-	-
04/12/1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140,0	-	-	-	-	102,6	-	-	-	250,2	-	400,0	-
05/12/1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180,3	-	-	-
11/11/1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	138,5	-	-	-	-	237,7	-	-	-	-	-	-	110,0
13/03/2000	-	-	-	-	-	-	121,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180,0	-
23/10/2000	-	-	-	-	-	-	144,0	-	-	124,7	-	-	-	-	-	-	-	114,9	105,0	-	-	-	109,9	-	226,0	-
24/10/2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110,0	-
14/02/2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-
19/09/2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110,0	-	-	-
28/03/2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140,0	-	-	-	-	100,0	-	-	-	-	-	-	-
02/04/2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	113,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06/05/2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190,0	-	-	-	-	295,1	-	-	-	153,3	-	-	-
07/05/2002	-	-	-	114,9	-	-	132,0	-	121,0	112,9	-	-	-	-	-	-	-	-	180,0	-	-	-	174,6	-	-	-
10/01/2003	-	-	-	-	-	-	123,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122,4	-	-	-
15/02/2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120,0	-	-	-	-	-	-	-	-	144,3	-	117,0	-
15/04/2003	-	-	-	157,6	-	-	132,0	-	-	-	-	-	-	180,0	-	-	-	-	192,2	-	-	-	195,3	-	202,5	-
17/11/2003	-	-	-	114,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/03/2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115,7	-	-	-	-	-	-	-
15/04/2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130,2	-	-	-	-	-
11/05/2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110,0	-	-	-	-	-	-	-	-	116,1	-	105,0	-
05/11/2004	-	-	-	185,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/11/2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108,5	-	-	-
04/12/2004	-	-	-	181,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	179,0	-	-	-	-	-	-	-
05/12/2004	-	-	-	142,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	126,7	-	-	-
07/12/2004	-	-	-	109,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	133,6	-	-	-
30/01/2006	-	-	-	-	-	-	120,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	154,2	-	-	-
20/12/2006	-	-	-	-	-	-	102,0	-	-	-	-	-	-	108,3	-	-	-	-	-	-	-	-	140,0	-	121,5	-
29/03/2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	126,0	-	-	-
22/09/2007	-	-	-	114,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/10/2007	-	-	-	130,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190,0	-	-	-	165,0	-	371,2	-
12/10/2007	-	-	-	155,0	-	-	222,0	-	165,2	131,7	-	-	-	258,9	-	-	-	-	145,5	-	-	-	227,0	-	-	-
17/10/2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	104,0	-	-	-
18/10/2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,4	-	-	-	-	-	-	-
22/12/2007	-	-	-	-	-	-	117,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190,0	-	113,0	-
23/12/2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	133,0	-	126,0	-
09/10/2008	-	-	-	133,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	109,0	-
22/10/2008	-	-	-	109,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	131,0	-	-	-	-	-	-	-
15/09/2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/09/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107,0	-	109,0	-
27/09/2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	111,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/09/2009	-	131,0	-	128,1	-	-	134,0	-	138,2	132,7	-	-	-	104,4	-	122,0	-	155,8	-	192,0	166,6	-	-	-	-	-
29/09/2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	119,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13/12/2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190,0	-	-	-	-	125,8	-	-	-	136,0	-	-	-
14/12/2009	-	-	-	-	-	-	155,0	-	119,2	-	-	-	-	105,8	-	-	-	-	121,7	-	-	-	188,0	-	-	-
25/01/2010	-	-	-	-	-	-	109,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	236,0	-	-	-
13/08/2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	139,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/10/2010	-	-	-	132,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122,0	-	-	-

ID OBS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
11/03/2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	102,5	-	-
28/10/2011	-	-	-	135,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162,5	-	-	-	103,0	-	189,0	-
29/10/2011	-	-	-	100,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21/11/2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	121,7	-	-	-	-	-	112,0	-
22/11/2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-	107,0	-
20/03/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117,0	-	-	-	-	107,1	-	-	-	-	-	104,0	-
11/11/2012	-	-	-	190,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	152,0	-	-	-	-	-	230,0	-
13/11/2012	-	-	-	113,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155,5	-	-	-	-	187,5	-	-	-	122,0	-	120,0	-
24/04/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-	105,0	-
25/04/2013	-	-	-	127,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107,0	-	107,0	-
30/11/2013	-	-	-	-	-	-	103,0	-	101,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16/12/2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105,1	-	-
17/12/2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	102,6	-	-
18/12/2016	-	-	-	255,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	109,1	-	-	107,5	-	103,0	-	135,0	-
19/12/2016	-	-	-	-	-	-	125,0	-	104,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	179,0	-	213,0	-
18/01/2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0	-	-	-
19/01/2017	-	-	-	101,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21/01/2017	-	-	-	101,8	-	-	217,0	-	199,0	210,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	338,0	-	112,0	-
22/01/2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	114,0	-	-	-
13/03/2017	167,0	112,2	-	-	-	-	-	-	108,9	101,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	136,0	-	-	-
19/04/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21/04/2019	-	-	-	104,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	226,0	-	-	-	-	150,0	-	-	-	163,0	131,5	135,0	-
20/08/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	141,0	-	132,0	-	-	-	-	-
11/09/2019	-	-	-	141,2	-	-	137,0	-	-	116,0	-	-	-	-	-	131,0	-	-	148,0	-	-	-	180,0	-	215,0	-
12/09/2019	-	-	152,8	-	-	-	-	148,0	-	-	-	107,1	130,0	-	-	101,0	-	230,8	-	-	160,0	-	-	-	-	-
03/12/2019	-	-	-	111,9	-	-	-	-	114,0	-	-	-	-	130,3	-	-	-	-	142,0	-	-	-	143,0	-	132,0	-
19/01/2020	-	-	-	158,1	-	-	159,1	-	165,6	152,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	277,0	-	203,0	-
20/01/2020	-	-	-	192,4	-	152,0	-	-	107,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	128,3	-	-	-	102,0	-	-	-

Leyenda: Las columnas corresponden con el ID de cada observatorio.

Fuente: elaboración propia a partir de la AEMET

Anexo II. Número total de eventos extremos (≥ 100 mm/día) registrados en los observatorios de la provincia de Alicante (1981–2020)

	E	F	Mz	Al	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D	Total
Agost			1						1	1			3
Alicante			1						3	1		1	6
Alicante-Elx-Aero									1	1			2
Almudaina	4	2		3	2				6	9	10	6	42
Banyeres									3	1	2		6
Beneixama	1								2				3
Bolulla	5	3	1	2	3				6	4	5	4	33
Callosa de Segura									2		1		3
Callosa de Sarriá	3	2	1	1	4				5	2	4	3	25
Callosa de Sarriá Tossal	2	2	1	1	1				3	2	1		13
Elche									1		2		3
Elche-CHS				1					2		2		5
Elche-Campo Agrícola									2		1		3
Gata de Gorgos		3	3	4	4	1		1	6	2	7	6	37
La Marina Elche									5				5
Jijona											1		1
La Romana					1				1	1	1		4
Orihuela									2	1	1	1	5
Pego	1	1	4	5	2			1	9	11	8	6	48
Pinoso									1				1
Rojales		1		1				1	3		1	1	8
San Vicente del Raspeig			1						3	1	1		6
Tárbenas	8	3	6	3	5				8	8	6	12	59
Tibi			1	1					2		1	2	7
Vall Laguard-Fontilles	2	3	3	5	3				6	7	9	8	46
Villena La Vereda						1							1
Total	26	20	23	27	25	2	0	3	83	52	64	50	375

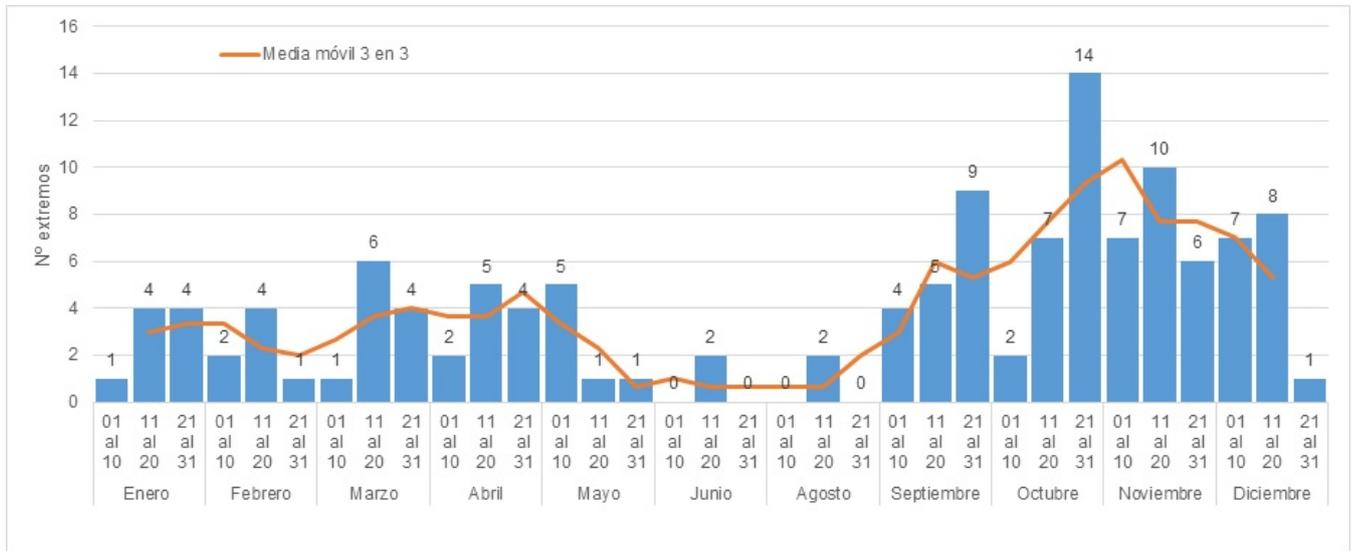
Fuente: elaboración propia a partir de la AEMET

Anexo III. Número de eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) por año y mes para la provincia de Alicante (subperiodos 1981–2020)

	E	F	Mz	Al	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D	Total	
1er subperiodo	1981			1									1	
	1982				1					2	1		4	
	1983												0	
	1984										1		1	
	1985	1								1	3	1	6	
	1986								2		2		4	
	1987										2		2	
	1988								1	1	1		3	
	1989			2					3		1	1	7	
	1990					1						1	2	
	1991			1						2			3	
	1992	2	1			2	1			1			7	
	1993	2								2	3		7	
	1994				1								1	
	1995				1								1	
	1996								2				2	
	1997				1		1		1	1			2	6
	1998													0
	1999											1		1
	2000			1							2			3
Subtotal	0	5	5	4	4	2	0	0	9	12	15	5	61	
2º subperiodo	2001		1						1				2	
	2002			1	1	2							4	
	2003	1	1		1							1	4	
	2004			1	1	1					2	3	8	
	2005												0	
	2006	1										1	2	
	2007			1					1	6			8	
	2008									2			2	
	2009								5			2	7	
	2010	1						1		1			3	
	2011			1						2	2		5	
	2012			1							2		3	
	2013				2							1	3	
	2014												0	
	2015												0	
	2016											4	4	
	2017	4		1									5	
2018												0		
2019				2			1	2			1	6		
2020	2											2		
Subtotal	9	2	6	7	3	0	0	2	9	11	8	11	68	
Total	9	7	11	11	7	2	0	2	18	23	23	16	129	

Fuente: elaboración propia a partir de la AEMET

Anexo IV. Calendario de eventos extremos (≥ 100 mm/día) en la provincia de Alicante según decena del mes (1981–2020)



Fuente: elaboración propia a partir de la AEMET