

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DIARIA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA PROVINCIA DE ALICANTE*

Aziz BENHAMROUCHE y Javier MARTÍN-VIDE

Grupo de Climatología

Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional

Universidad de Barcelona

RESUMEN

El análisis de la precipitación diaria es un tema de gran interés en España. La importancia de este tipo de análisis deriva sobre todo del hecho de que las precipitaciones torrenciales constituyen uno de los mayores riesgos ambientales en el litoral mediterráneo ibérico. En este trabajo se analiza la concentración temporal diaria de la precipitación, a partir del cálculo del índice de concentración pluviométrico (CI), a una escala de detalle –la provincia de Alicante–, y la situación sinóptica de una muestra de días con precipitaciones torrenciales en la citada provincia. Los resultados obtenidos pueden resumirse en: 1) Una elevada concentración pluviométrica en el área de la capital y, sobre todo, en la parte septentrional de la provincia, donde el 30 % de los días lluviosos aportan el 75 % del total anual; 2) la importancia de los episodios torrenciales consecuencia de una depresión aislada en niveles altos (DANA) o «gota fría»; y 3) la utilidad del índice (CI) para la planificación territorial y la mitigación del riesgo en el área mediterránea de estudio.

Palabras clave: Precipitación diaria, índice de concentración, situación sinóptica, provincia de Alicante.

ABSTRACT

The analysis of daily precipitation has a great interest for Spain. This type of analysis is important because torrential rainfall is one of the most critical natural risk in the Iberian Mediterranean coast. In this paper the daily concentration of rainfall, by means of the Concentration Index (CI), in the province of Alicante, as well as the synoptic situation of a sample of days with heavy precipitation in the same province, are analysed. The results can be summarized as follows: 1) A high concentration of rainfall in the capital area and,

* Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación por el Ministerio de Ciencia e Innovación del proyecto CGL2011-29263-C02-01, 2012-2014, el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ), el apoyo del Grup de Climatología (2009 SGR 443) y la beca FPI de que disfruta el primer autor. Los datos han sido proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET).

especially, in the northern part of the province, where the 30% of rainy days account for much as 75% of the annual total; 2) torrential rainfall events as a result of isolated cold depression at high tropospheric levels (DANA), or cut-off low; and 3) the usefulness of the CI for the territorial planning in the study area.

Key words: Daily precipitation, concentration index, synoptic situation, province of Alicante.

1. Introducción

La variabilidad espaciotemporal de las precipitaciones propicia, en sus extremos, riesgos significativos, las sequías y las inundaciones (Alijani *et al.* 2008: 107-124). La variabilidad temporal, se vincula con la dinámica general de la atmósfera, de la cual dependen el régimen pluviométrico anual y las oscilaciones interanuales, mientras que el relieve y la topografía acentúan los desequilibrios en la distribución espacial de las precipitaciones (Fernández, 1995: 285).

Al respecto, en la España Peninsular existe una gran variabilidad en la distribución de este recurso, en términos espaciales y temporales (Martín Vide y Olcina, 2001; Sánchez-Lorenzo y Martín-Vide, 2006). Este hecho se visualiza claramente al realizar un análisis de la distribución de las precipitaciones diarias de las zonas áridas y semiáridas mediterráneas a una escala de detalle. En ellas se acumula un elevado porcentaje del total pluviométrico anual en muy pocos días lluviosos (De Luis *et al.* 1996a: 47-62, 1997b: 33-44; Martín-Vide, 2004: 959-971). Por lo tanto, la aparición o no de estos días con lluvias copiosas puede variar el carácter pluviométrico de un año (seco o lluvioso).

La elevada intensidad pluviométrica, junto con los reducidos totales anuales, en el sudeste de la Península Ibérica nos invita en este trabajo a centrar el estudio de la precipitación diaria en la provincia de Alicante, que se caracteriza por un clima mediterráneo semiárido. El análisis se centra en el periodo 1976-2009 y determinará los valores del índice de concentración diaria de precipitación «CI5», y su cartografía a lo largo de la provincia, para determinar sus variaciones espaciales. Las condiciones climáticas en el área de estudio vienen determinadas por el tipo de clima mediterráneo semiárido, o sureste, con una elevada temperatura media anual, de entre 14,5 y 18,5 °C, una amplitud térmica anual de entre 13,5 y 17,5 °C, y, sobre todo, una extrema aridez. Los veranos son calurosos, destacando especialmente los valores térmicos diarios mínimos, cercanos o superiores a los 20°C durante varios meses consecutivos. En cuanto a la precipitación, definidora del área, su media anual va de 150 a 350 mm, con un claro mínimo estival y máximos anuales otoñales o invernales (Martín-Vide y Olcina Cantos, 2001: 258). El régimen térmico anual de la franja de la provincia más cercana al mar muestra una característica propia de áreas costeras: la llegada de la temperatura media mensual máxima y mínima en agosto y febrero, respectivamente, como consecuencia del efecto termorregulador del mar. Las aguas mediterráneas acusan asimismo una acumulación de calor en los últimos días del verano y primeras semanas del otoño, creciendo sensiblemente la carga de humedad del aire. Estas jornadas bochornosas post-estivales suelen resolverse en fenómenos tormentosos, que, como es bien sabido descargan en ocasiones lluvias torrenciales (Gil Olcina y Morales, 1989: 586; Olmedo Cobo y Villacreces Sáez, 2008: 123-148).

2. Metodología: Índice de concentración «CI5»

El índice de concentración diaria de clase 5 mm, «CI5», fue calculado adaptando la metodología expuesta por (Martín-Vide, 2004: 959-971), quien propuso una definición de la concentración de la precipitación diaria en clases de 1 mm y un índice para ser evaluada. Aquí se ilustrará con un ejemplo: La tabla 1, que contiene los datos de la estación meteorológica de Agost-escuela (Alicante) del período 1976-2009.

En la primera columna de la tabla 1 se presentan los límites superiores de clase en orden ascendente, mientras que la segunda columna muestra sus puntos medios (marcas). En la tercera columna (Ni), el número de días de precipitación registrados en cada clase, o frecuencia absoluta. Así, por ejemplo, en 34 años, se registraron 921 días de lluvia con cantidades que van desde 0,1 hasta 4,9 mm; y 254 presentaron cantidades que van desde 5,0 hasta 9,9 mm., etc. El día más lluvioso se encuentra entre 190,0 y 194,9 mm. En total fueron 1.469 días de lluvia (la suma de la tercera columna). La cuarta columna, ($\sum Ni$), muestra las frecuencias acumuladas, resultado de sumar las frecuencias absolutas de todas las clases hasta la que se examina; el valor de la última clase tiene que ser el mismo que el número total de días de precipitación. La quinta columna, denominada Pi, se obtiene multiplicando, clase por clase, la segunda columna por la tercera, que es el total pluviométrico de cada clase. Aunque la sustitución de todos los valores de cada clase por su punto

Tabla 1
DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS EN CLASES DE 5 MM, FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS (X) Y PORCENTAJES ACUMULADOS DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL (Y) EN AGOST-ESCUELA (ALICANTE) (1976-2009)

lim.sup.	Ma	Ni	$\sum Ni$	Pi (ma*Ni)	$\sum Pi$	X= ($\sum Ni$ %)	Y= ($\sum Pi$ %)
4,9	2,5	921	921	2302,5	2302,5	62,70	21,20
9,9	7,5	254	1175	1905	4207,5	79,99	38,73
14,9	12,5	127	1302	1587,5	5795	88,63	53,35
19,9	17,5	63	1365	1102,5	6897,5	92,92	63,50
24,9	22,5	28	1393	630	7527,5	94,83	69,30
29,9	27,5	19	1412	522,5	8050	96,12	74,11
34,9	32,5	21	1433	682,5	8732,5	97,55	80,39
39,9	37,5	11	1444	412,5	9145	98,30	84,19
44,9	42,5	5	1449	212,5	9357,5	98,64	86,14
49,9	47,5	2	1451	95	9452,5	98,77	87,02
54,9	52,5	5	1456	262,5	9715	99,12	89,44
59,9	57,5	1	1457	57,5	9772,5	99,18	89,97
69,9	67,5	2	1459	135	9907,5	99,32	91,21
74,9	72,5	5	1464	362,5	10270	99,66	94,55
84,9	82,5	2	1466	165	10435	99,80	96,06
lim.sup.	Ma	Ni	$\sum Ni$	Pi (ma*Ni)	$\sum Pi$	X= ($\sum Ni$ %)	Y= ($\sum Pi$ %)
104,9	102,5	1	1467	102,5	10537,5	99,86	97,01
134,9	132,5	1	1468	132,5	10670	99,93	98,23
194,9	192,5	1	1469	192,5	10862,5	100,00	100,00
Suma		1469		10862,5			

medio es sólo una aproximación, el procedimiento es lo suficientemente preciso. En la sexta columna, (ΣP_i), los valores de la columna anterior se suman progresivamente, por lo que el valor de la última clase es la precipitación total durante el período (1976-2009), es decir 10.862,5 mm. Por último, los porcentajes de las columnas cuatro y seis se presentan en las columnas siete y ocho, respectivamente, en otras palabras, la división de cada valor por el último valor de la columna y multiplicado por 100. Las dos últimas columnas se puede interpretar de la siguiente manera: más de dos tercios de los días de lluvia, el 62,70%, corresponde a días con precipitación menor o igual que 4,9 mm, y representan el 21,20% del volumen total de las precipitaciones.

Estos resultados pueden ser representados gráficamente como se muestra en la figura 1, mediante el porcentaje acumulado de los días de lluvia (columna penúltima), ΣN_i (%) o X, frente al porcentaje acumulado de las cantidades de lluvia (última columna), ΣP_i (%) o Y. Véase que la línea resultante es marcadamente exponencial, es la llamada en Estadística curva de concentración o de Lorenz.

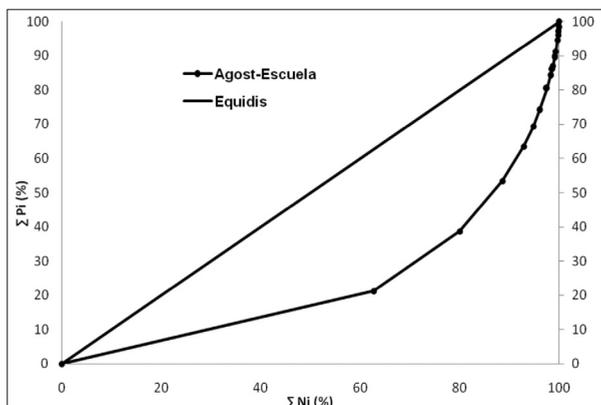


FIGURA 1. Curva de concentración o de Lorenz de la estación meteorológica de Agost-escuela (Alicante) (1976-2009).

La línea de equidistribución (un caso ideal) representaría una distribución de la precipitación diaria perfecta. La concentración (o la irregularidad diaria) puede ser evaluada mediante la separación relativa de la línea de equidistribución. En la figura 1 se representa la curva de concentración o de Lorenz de Agost-escuela, mostrando una separación alta respecto a la recta de equidistribución, lo cual indica una concentración notable de la precipitación diaria. Así, la estación meteorológica de Agost-escuela representa un lugar con una alta concentración de las cantidades de lluvia. Téngase en cuenta que en la estación de Agost-escuela el 10 % de los días más lluviosos aporta el 50% del volumen total (el 90 % de los días que quedan representan el 50 % restante).

Sin embargo, podemos perfeccionar las curvas de Lorenz o de concentración sustituyendo las poligonales por las curvas exponenciales que mejor las ajustan (Jolliffe y Esperanza, 1996: 1157-1163). Los trabajos de (Riehl, 1949: 176), (Olascoaga, 1950: 312) y (Martín-Vide, 2004: 959-971) introdujeron el procedimiento de cálculo siguiente para el ajuste:

$$y = aX e^{bx} \quad (1)$$

Las constantes a y b de la ecuación (1) pueden determinarse mediante mínimos cuadrados:

$$\ln a = \frac{\sum x_1^2 \sum \ln y_1 + \sum x_1 \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1^2 \sum \ln x_1 - \sum x_1 \sum x_1 \ln y_1}{N \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{N \sum x_1 \sum \ln y_1 + \sum x_1 \sum \ln x_1 - N \sum x_1 \ln x_1 - \sum x_1 \sum \ln y_1}{N \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (3)$$

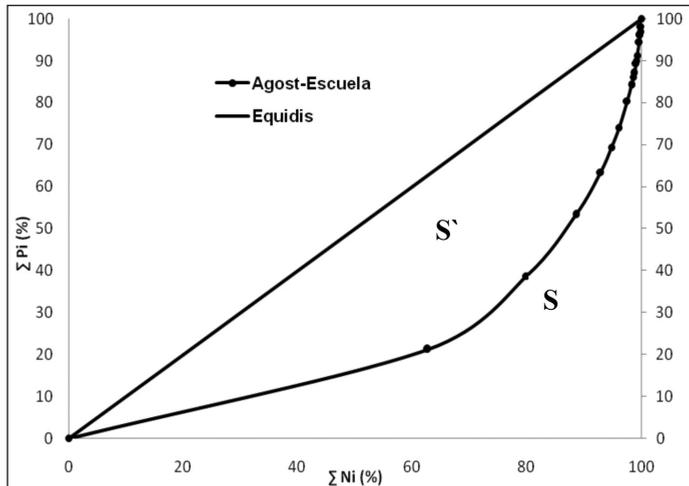
Siendo N el número de pares de valores.

Una vez determinadas las dos constantes (a, b), la integral definida de la curva exponencial entre 0 y 100 muestra la superficie comprendida entre la curva, el eje de abscisas y la ordenada 100, que equivale a:

$$s = \left[\frac{a}{b} e^{bx} \left(x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100} \quad (4)$$

Así, se obtendrán los valores más elevados cuanto más se aproximen las curvas exponenciales a la recta de equidistribución. Como nuestro interés radica en evaluar la irregularidad o concentración pluviométrica diaria, es decir, la separación respecto a la recta de equidistribución, hay que restar 5000 (área del triángulo bajo la recta de equidistribución) y el valor obtenido en la ecuación (4), para así hallar el área comprendida entre la curva, la recta de equidistribución y la ordenada 100 (S') Con esta superficie (figura 2) puede definirse el CI como:

$$CI = \frac{s'}{5000} \quad (5) \text{ (Martín-Vide, 2004: 959-971)}$$



De esta forma, se obtendrán valores más elevados en las estaciones meteorológicas que presentan mayor concentración en la precipitación diaria. Según las ecuaciones (2, 3 y 5), Agost-escuela (Alicante) presenta los valores de $a = 0,049$, $b = 0,029$ y $CI5 = 0,58$.

La novedad meteorológica del presente trabajo respecto al de Martín-Vide (2004) es la elección de clases de 5 mm de longitud en lugar de 1 mm. Esto permite aplicar el procedimiento estadístico a los observatorios pluviométricos secundarios, cuyas cantidades diarias de precipitación no han sido medidas con precisión o no siempre se han registrado.

Para los cálculos del CI5 se ha partido de las series de precipitación diaria de 28 estaciones meteorológicas de la provincia de Alicante, que forman parte de la red oficial de AEMET (tablas 2 y 3).

En cuanto al análisis sinóptico el estudio se centrará en una muestra de días con precipitaciones torrenciales. Para ello, se usaran imágenes satélite (Meteosat y MODIS) y mapas del tiempo, procedentes de www.wetterzentrale.de, de estos episodios torrenciales y se comparará la distribución espacial de los mapas de precipitación de los días con precipitaciones torrenciales con el mapa del índice de concentración CI5 en la provincia de Alicante.

3. Resultados y discusión

3.1. La distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación en la provincia de Alicante

A partir de los resultados obtenidos de los valores del índice de concentración diaria de precipitación CI5 en las 28 estaciones meteorológicas de la provincia de Alicante, se han detectado en algunas de estas estaciones fallos en el registro pluviométrico, sobre todo de las cantidades pequeñas, las incluidas en el intervalo 0,1-4,9 mm (columna 3 fila 1, en la tabla 1) y también en la suma de días lluviosos (columna 3, última fila). Por ejemplo, en la estación meteorológica de Sella en el intervalo 0,1-4,9 mm se registró 300 días y la suma de días lluviosos durante 34 años es 987 días, y en la estación meteorológica de Chinorlet entre 0,1-4,9 mm hay solamente 221 días y el número total de días lluviosos durante el mismo periodo es 832 días, etc., todos ellos valores muy bajos si se comparan con los de estaciones meteorológicas próximas y fiables. Estos fallos detectados dependen de la resolución y el seguimiento de las estaciones meteorológicas en el registro de cantidades de precipitación pequeñas. Al no ser estas estaciones de primer orden, probablemente se ha producido la pérdida de algunas cantidades pequeñas de precipitación, no detectadas o evaporadas en el pluviómetro. En conjunto, el número de días con precipitación inferior a 5 mm y el número total son muy inferiores al de los observatorios de primer orden. Por estas razones se han eliminado estas estaciones meteorológicas en nuestro estudio, que son las 6 de la Tabla 2.

Después del primer paso (apartado 2), se han calculado los valores del índice de concentración de las 22 mejores estaciones meteorológicas estudiadas (tabla 3). Los valores del CI5 oscilan entre 0,54 en Ibi (Cooperativa Agraria), en el interior de la provincia, y 0,67 en Benissa Convento y Gata de Gorgos, en al norte de la provincia, con valores igualmente altos en Callosa D'en Sarrià (0,66) y Bolulla (0,65), y en Alicante (Ciudad Jardín) (0,65).

Tabla 2
**LAS SEIS ESTACIONES METEOROLÓGICAS RECHAZADAS
 EN LA PROVINCIA DE ALICANTE**

Observatorios	Altitud (m)	Latitud	Longitud	Dist (km)	A	B	CI5
Chinorlet (CH)	555	38° 24'	0° 57'	40,5	0,115	0,021	0,47
Denia C.A.L (D)	15	38° 50'	0° 05'	0,80	0,029	0,034	0,62
El Verger Racons (VR)	21	38° 51'	0° 01'	2,10	0,049	0,029	0,58
Novelda (N)	241	38° 23'	0° 46'	23,7	0,084	0,024	0,52
Pedreguer (P)	80	38° 48'	0° 02'	7,40	0,030	0,034	0,62
Sella (S)	419	38° 36'	0° 16'	12	0,081	0,025	0,52

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Tabla 3
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS, VALORES DEL ÍNDICE DE CI5 Y LAS
 CONSTANTES A Y B PARA 22 ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA
 PROVINCIA DE ALICANTE (PERÍODO 1976-2009)**

Observatorios	Altitud (m)	Latitud	Longitud	Dist (km)	a	b	CI5
Agost escuela (Ag)	376	38° 26'	0° 38'	18	0,049	0,029	0,58
Alcoi Juan XXIII (AJ)	575	38° 42'	0° 27'	29	0,029	0,034	0,62
Alicante (El Altet) (AA)	31	38° 17'	0° 33'	3,5	0,023	0,037	0,63
Alicante (Ciudad Jardín) (A)	82	38° 21'	0° 30'	0	0,017	0,040	0,65
Almoradí C H Segura (ACH)	11	38° 06'	0° 47'	13	0,024	0,036	0,63
Almudaina (Al)	586	38° 46'	0° 21'	30	0,039	0,031	0,60
Aspe (AS)	241	38° 20'	0° 46'	23	0,033	0,033	0,60
Banyeres de Mariola (BM)	816	38° 43'	0° 39'	39	0,065	0,026	0,55
Beneixama (BX)	580	38° 42'	0° 46'	44,1	0,039	0,032	0,59
Benissa Convento (BC)	275	38° 43'	0° 03'	6	0,013	0,042	0,67
Bolulla (BO)	214	38° 41'	0° 06'	9,9	0,020	0,038	0,65
Callosa D'en Sarria (CS)	247	38° 39'	0° 07'	8,6	0,017	0,040	0,66
Callosa de Segura (CaS)	19	38° 06'	0° 54'	21	0,023	0,037	0,63
Elche (E)	86	38° 15'	0° 41'	12,3	0,029	0,035	0,61
Gata de Gorgos (GG)	50	38° 46'	0° 06'	7,5	0,016	0,040	0,67
IBI (IBI)	750	38° 37'	0° 06'	27	0,072	0,026	0,54
La Marina de Elche (ME)	20	38° 08'	0° 27'	1,1	0,022	0,037	0,63
San Vicente Raspeig (SV)	109	38° 24'	0° 31'	7	0,031	0,034	0,61
Tibi Taleca (TT)	590	38° 30'	0° 34'	20,1	0,040	0,031	0,59
Orihuela (Los Desamparados)	26	38° 04'	0° 59'	25,48	0,033	0,033	0,61
Laguna de la Mata	2	38° 02'	0° 42'	1,52	0,043	0,030	0,59
San Miguel de Salinas	85	37° 58'	0° 47'	8,0	0,042	0,031	0,60

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

La cartografía de los resultados obtenidos en la tabla 3, mediante la herramienta del programa Surfer 8®, se representa en la figura 3, en la que se observa una disposición general de los valores de CI5 con gradación de mayor a menor entre la costa y el interior. Asimismo, se aprecia una disminución del índice de concentración de norte a sur, quizá debido al inicio de una cierta influencia del Atlántico.

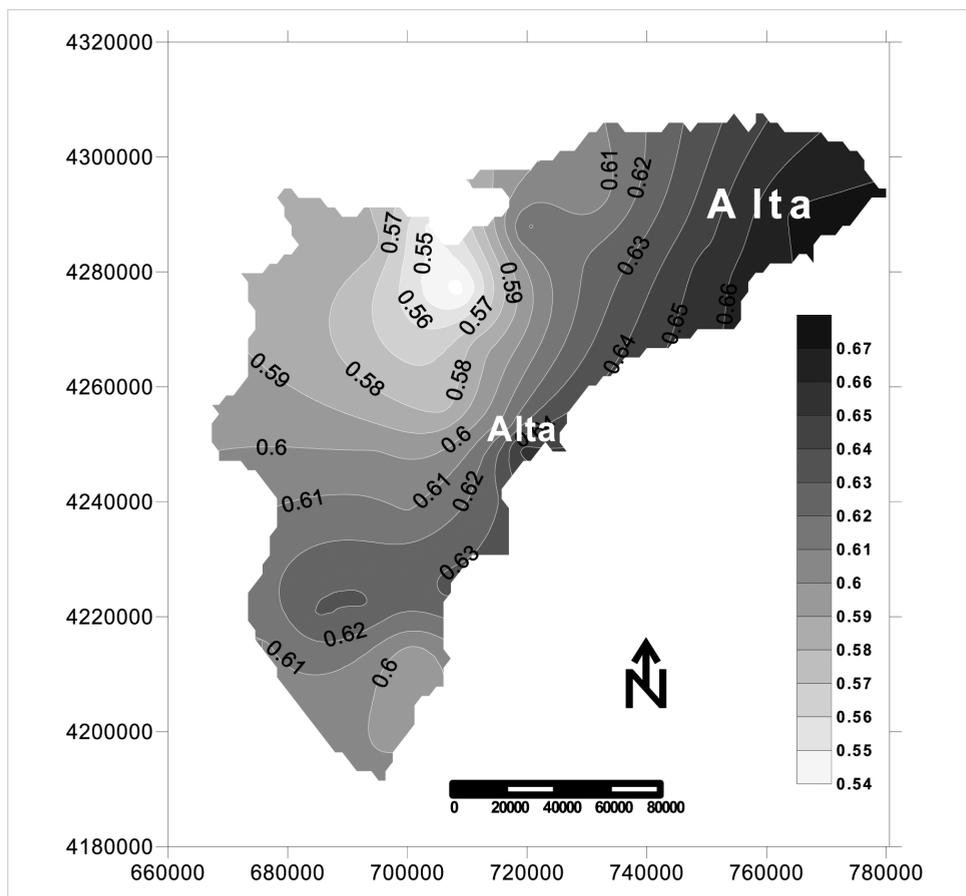


FIGURA 3. Distribución espacial de los valores del CI5 en la provincia de Alicante.

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

3.2. Análisis sinóptico de una muestra de días con precipitaciones torrenciales en la provincia de Alicante

Se han analizado en detalle, a modo de estudios de caso, tres episodios de precipitaciones torrenciales en la provincia de Alicante, que se presentan a continuación, además de otros no expuestos aquí. Los tres estudios de caso están entre los episodios otoñales típicos de precipitaciones intensas más relevantes en el área de estudio en los últimos años.

3.2.1. Situación sinóptica del episodio del 28-30 de septiembre de 1997

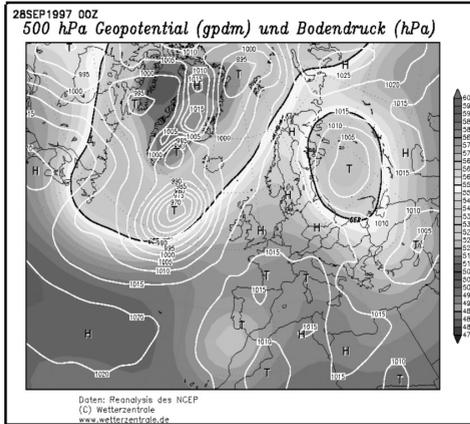


FIGURA 4. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolíneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 28-09-1997. Fuente: wetterzentrale.

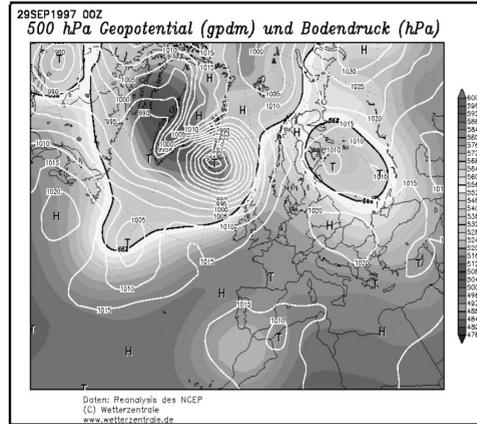


FIGURA 5. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolíneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 29-09-1997. Fuente: wetterzentrale.

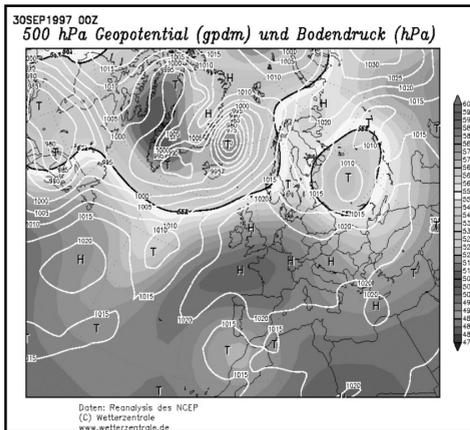


FIGURA 6. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolíneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 30-09-1997. Fuente: wetterzentrale.

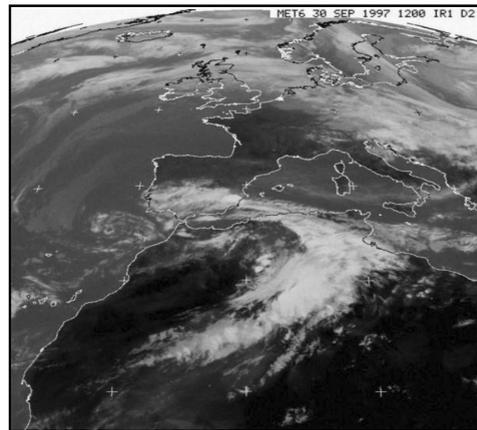


FIGURA 7. Imagen del satélite Meteosat del 30 de septiembre de 1997, fecha de la inundación de Alicante. Obsérvese el denso núcleo nuboso sobre la vertical alicantina. (Foto: Eumetsat)

En el día 28 de septiembre (figura 4) se destaca una baja térmica sobre el norte de África con una presión algo por debajo de 1013 hPa, que conlleva un cierto flujo del este sobre el levante de la Península Ibérica, incluida la provincia de Alicante. El mapa de altura muestra unas bajas presiones geopotenciales que no se reflejan en superficie, hecho que indica que se trata de una gota fría (DANA) al sudoeste (el golfo de Cádiz). El resultado fueron precipitaciones moderadas en la provincia. Según la clasificación de Martín-Vide (1984: 101-106) la situación sinóptica puede calificarse de Gota fría al sudoeste.

El día 29 (figura 5) la baja térmica sobre el norte de África se desplaza al mar de Alborán, conllevando un flujo más marcado del este sobre la franja oriental ibérica. Se producen chubascos intensos por el flujo húmedo en superficie procedente del Mediterráneo cálido de finales de verano, junto con la presencia de aire frío en altura en el sur peninsular, lo que conlleva una fuerte inestabilidad sobre la provincia de Alicante. La situación meteorológica descrita es una advección del este o de levante con gota fría (DANA). En efecto, según la clasificación de Martín-Vide (1984: 101-106) la situación sinóptica puede calificarse de Advección del este con «gota fría».

En la figura 6 se recoge la situación sinóptica del día 30 de septiembre de 1997, con un mapa de superficie en que se aprecian altas presiones sobre el centro de Europa, lo que conlleva un flujo bien definido del este sobre la costa mediterránea peninsular, junto con una circulación ciclónica en el golfo de Cádiz. Esto unido a la presencia aún de aire frío en altura produjo chubascos intensos sobre la mitad sur peninsular. La situación meteorológica es relativamente parecida a la del día anterior. En la imagen de satélite de las 12:00 del 30 de septiembre de 1997 (figura 7) se aprecian núcleos nubosos activos sobre una buena parte de Argelia cruzando el mar Mediterráneo y pasando por el centro y sur de Alicante, indicador de la inestabilidad atmosférica. Se registraron cantidades de precipitación importante en el área de estudio.

3.2.2. Situación sinóptica del episodio del 11-13 de octubre de 2007

A partir del martes día 9 de octubre de 2007 la situación sinóptica estuvo marcada por una depresión aislada en niveles medios y altos de la troposfera situada sobre las Islas Británicas, que fue descendiendo en latitud hasta situar su centro el jueves 11 sobre la Comunidad Valenciana. Con el desplazamiento hacia el sur de la depresión en altura, se fue configurando un flujo de vientos del este en toda la troposfera, que fue progresando de norte a sur de la Comunidad, de forma que las precipitaciones se fueron desplazando desde Castellón en la mañana del día 11, hasta Alicante, en la madrugada y mañana del 12. En superficie, un potente anticiclón sobre Europa canalizaba un flujo de vientos del este con largo recorrido por el Mediterráneo. Uno de los elementos más importantes que explican las grandes acumulaciones de precipitación ocurridas fue la focalización de un máximo de viento húmedo en capas bajas de la atmósfera sobre el sur de Valencia y Norte de Alicante (según información del Instituto Nacional de Meteorología).

El día 11 de octubre destaca una «gota fría» en el golfo de Valencia y el norte de Alicante, donde se registra una presión superior a la normal (1.013 hPa). La «gota fría» lleva asociada una isoterma cerrada de -20°C sobre el área de estudio (figura 8). Según la clasificación de (Martín-Vide, 1984: 101-106), la situación sinóptica puede calificarse de Advección del este con «gota fría».

Para el día 12, a partir de los satélites TERRA y AQUA de la NASA, con su sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) se aprecian tormentas bien definidas y organizadas (figuras 9 y 10). Se sigue observando la «gota fría», con isoterma cerrada de -16°C , centrada entre el norte de África (Argelia) y una parte del sudeste de la Península Ibérica (el golfo de Valencia y la parte norte de la provincia de Alicante). Es una situación retrógrada, hay un surco o vaguada con orientación SW-NE, en el cual se aloja un mínimo barométrico en las capas medias-altas troposféricas. Según la clasificación de

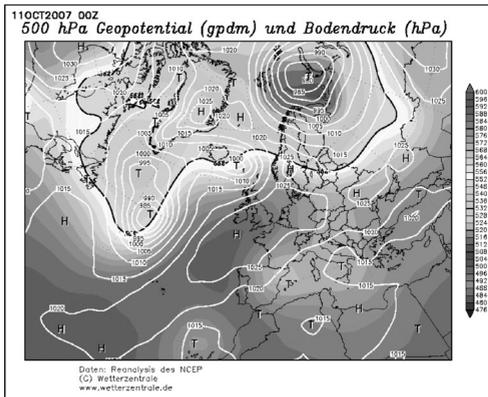


Figura 8. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 11.10.2007. Fuente: wetterzentrale.

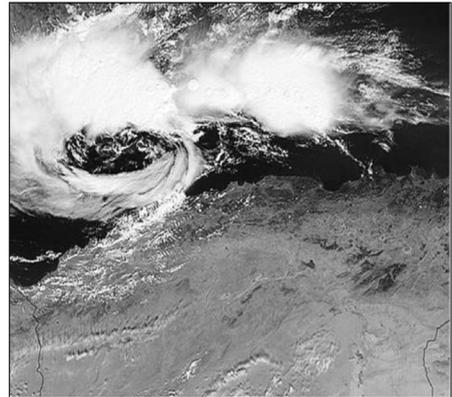


Figura 9. Imagen del mediodía en falso color del sensor MODIS a bordo del satélite TERRA de la NASA correspondiente al 12 de octubre de 2007. Fuente NASA.

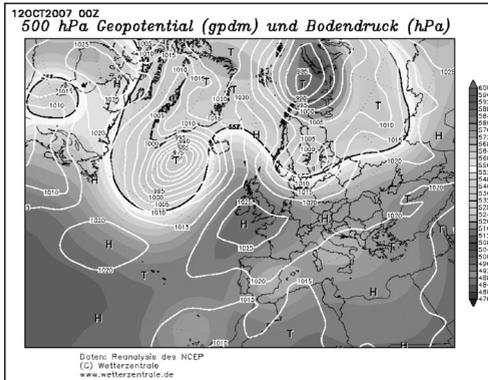


Figura 10. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 12.10.2007. Fuente: wetterzentrale.



Figura 11. Imagen satélite para la parte norte de la provincia de Alicante y el sur de Valencia. Fuente: NASA.

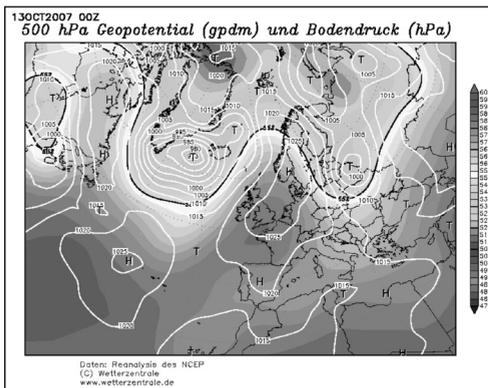


Figura 12. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 13.10.2007. Fuente: wetterzentrale.

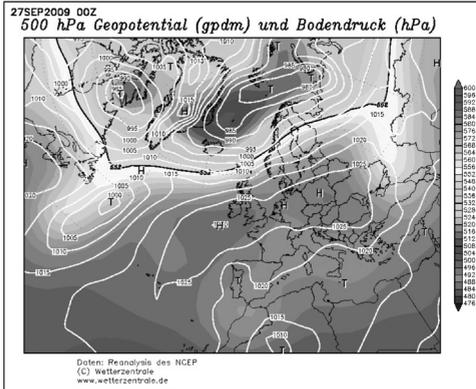


Figura 13. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolíneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 27-09-2009. Fuente: wetterzentrale.

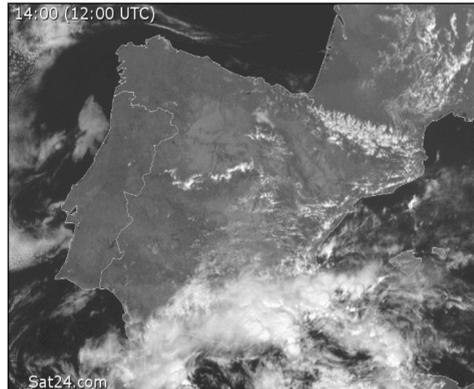


Figura 14. Imagen del satélite a las 12 horas GMT del 27-09-2009. Fuente: Sat24

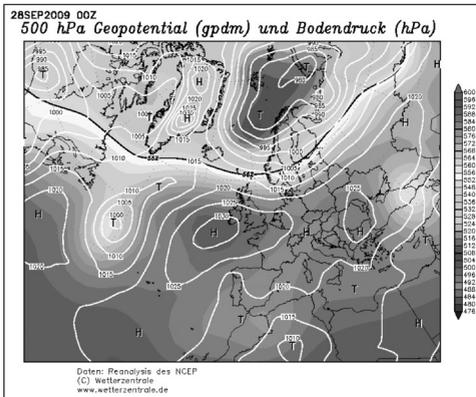


Figura 15. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolíneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 28-09-2009. Fuente: wetterzentrale.



Figura 16. Imagen del satélite a las 12 horas GMT del 28-09-2009. Fuente: Sat24

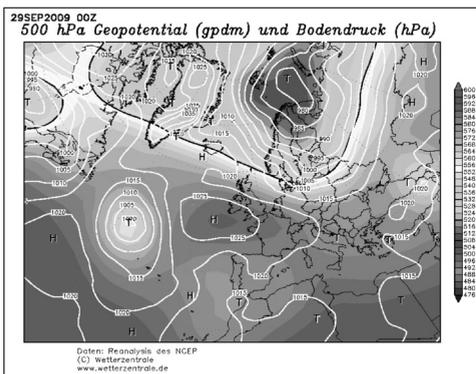


Figura 17. Mapa del tiempo de superficie de las 00 horas GMT (isolíneas blancas) y (geopotencial de 500 hPa (gpm) del 29-09-2009. Fuente: wetterzentrale.

Martín-Vide (1984: 101-106), la situación sinóptica puede calificarse también de Advección del este con «gota fría».

Después de la tormenta viene la calma. El día 13 las ramblas, secas durante gran parte del año, evacuaron las escorrentías generadas por las lluvias intensas o torrenciales de los dos días previos, dejando sus desembocaduras llenas de materiales, detritus, arenas, limos, barros, etc., redistribuidos por las corrientes marinas. Estas señales son evidentes en las imágenes del MODIS del día 13 (figura 11). Se observa en el mapa del tiempo una vaguada retrógrada, pero ya no un mínimo en altura de presión o temperatura (figura 12).

3.2.3. Situación sinóptica del episodio del 27-29 de septiembre de 2009

La situación sinóptica del 27 de septiembre de 2009 (00 GMT), se caracterizaba por una depresión aislada en niveles altos (DANA) o «gota fría» localizada en las cercanías del estrecho de Gibraltar y norte de Marruecos. En superficie, hay bajas presiones relativas en el Mediterráneo central y un anticiclón extendido de oeste a este desde las Islas Británicas hasta la Europa central, favoreciendo un flujo del NE sobre la fachada mediterránea ibérica. De la misma manera, se aprecia además un centro depresionario poco profundo en el interior de Argelia (figura 13).

En la imagen del satélite correspondiente a las 12 horas GMT del 27 de septiembre (figura 14), se aprecian núcleos activos situados sobre el este de Andalucía, región de Murcia y sur de la Comunidad Valenciana, donde se registraron cantidades de precipitación importantes.

En el día 28 (figura 15) no se aprecian cambios importantes en la configuración isobárica respecto al día anterior, aunque se aprecia una componente este más clara de los vientos en superficie, que pudieron favorecer una mayor inestabilidad, desplazándose los núcleos activos de precipitación hacia el centro y norte de la Comunidad Valenciana, al comparar la imagen de satélite del día anterior con la imagen del 28 a las 12 horas GMT (figura 16).

En el día 29 de septiembre (figura 17) se registraron las precipitaciones más intensas, que en comarcas del norte de la Comunidad Valenciana, como la Plana Alta y la Plana Baixa, superaron los 250 mm.

El episodio torrencial comenzó a remitir a últimas horas del día 30, cuando la «gota fría» o DANA de debilitó, se desplazó hacia el este y, a la vez, el anticiclón perdió fuerza y se trasladó hacia el Atlántico, de modo que ambos sistemas ya no generaban un flujo del este inestable y húmedo sobre la franja mediterránea de la Península Ibérica.

3.3. *Comparación los mapas de precipitación de días con precipitaciones torrenciales y el mapa de CI5 en la provincia de Alicante*

Los mapas de la distribución espacial de la precipitación total recogida en los tres días de cada uno de los episodios torrenciales estudiados se presentan en las figuras 18, 19, 20, comparándose con el mapa de la distribución espacial del índice de concentración pluviométrica CI5 (figura 3). Puede apreciarse la correspondencia espacial entre ellos, marcando los máximos del área de la capital y de la parte norte de la provincia, donde se registraron las lluvias intensas o torrenciales, coincidiendo con los sectores de alta concentración pluviométrica. Por ejemplo, en el caso del episodio del 28-30 de septiembre de 1997 cayeron 271,5 mm de precipitación en la ciudad de Alicante, con un índice de concentración alto

CI5 = 0,65. En el episodio del 11-13 de octubre de 2007 se registraron entre 270 y 336,8 mm de precipitación en la parte septentrional de la provincia, que se corresponde con los valores más altos del índice CI5, de entre 0,64 y 0,67. En el último episodio, del 27-29 de septiembre de 2009, se registraron lluvias torrenciales en la parte norte de la provincia (CI5 \geq 0,64), en algunos lugares del área de la capital y también al sureste de la provincia, con CI5 = 0,63.

En resumen, parece visualizarse que las áreas con alta concentración pluviométrica (elevado CI5) tienen mayor riesgo de padecer precipitaciones torrenciales e inundaciones

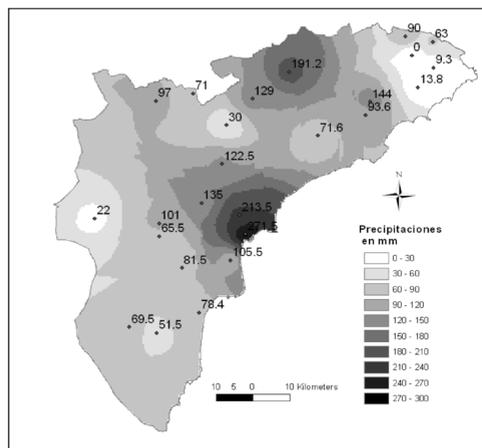


Figura 18. Distribución de la precipitación total en tres días en la provincia de Alicante (el episodio del 28-30.09.1997)

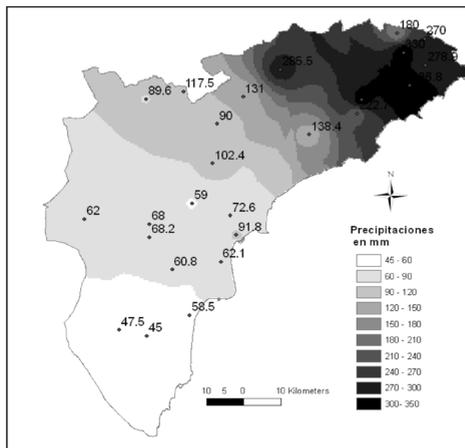


Figura 19. Distribución de la precipitación total recogida en tres días en la provincia de alicante (el episodio del 11-13.10.2007)

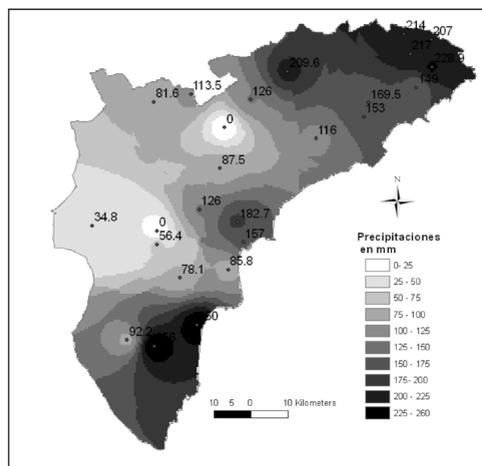


FIGURA 20. Distribución de la precipitación total recogida en tres días en la provincia de Alicante (el episodio del 27-29.09.2009)

que las zonas de moderada concentración. De esta manera, el índice de concentración (CI5) se erige en un buen índice de la torrencialidad y estimador de las áreas con mayor riesgo climático de precipitaciones torrenciales e inundaciones. En consecuencia, ha de ser útil en la planificación territorial y en el diseño y dimensionamiento de las infraestructuras.

4. Conclusiones

El presente trabajo se ha centrado en dos aspectos próximos y complementarios en el ciclo del agua: la concentración temporal de la precipitación a resolución diaria y su génesis atmosférica, a partir de un índice de concentración de la precipitación aplicado a observatorios meteorológicos de la provincia de Alicante, en el primer caso, y mediante el análisis de algunas situaciones sinópticas de episodios torrenciales de precipitación en los últimos 13 años, en el segundo.

El índice de concentración usado, el CI5, constituye una nueva propuesta, basado en el índice CI, ó aquí CI1, de Martín-Vide (2004: 959-971). Con esta aportación metodológica se han intentado mitigar las dificultades de aplicación del CI1 a estaciones pluviométricas que no son de primer orden, en las cuales suelen perderse días con precipitación, dado que pasa inadvertidos por parte del responsable de la estación, normalmente un aficionado. Esto da lugar, como se ha podido verificar en varios observatorios alicantinos, a un falso bajo número de días de precipitación respecto a los observatorios de primer orden, especialmente visible en los días de cantidades pequeñas. Al usar el CI5 clases de 5 mm de longitud, en lugar de clases de 1 mm, el problema se alivia en alguna medida, por lo que los valores del índice permiten, salvo excepciones, ser cartografiados y, lo que es más importante, no pierden, al igual que los del CI1, la potencialidad de ser estimadores de la erosividad y agresividad de la precipitación. Por tanto, el CI5 es aplicable con utilidad a muchos observatorios secundarios. En este sentido, la similitud de los mapas de isopletas del CI5 y el CI1 aplicados a observatorios de primer orden de la España peninsular (Benhamrouche y Martín Vide, enviado) avala la validez del primero. El CI5 sigue teniendo la virtud de ser un cierto estimador de la intensidad de la precipitación, o, dicho de otro modo, un sucedáneo de ésta allí donde faltan los pluviógrafos de intensidades.

Los resultados alcanzados con el CI5 permiten identificar la franja litoral, en especial la septentrional, de la provincia de Alicante como el área con mayor concentración diaria de la precipitación ($CI5 > 0,65$), es decir, en la que unos pocos días muy lluviosos aportan un elevado porcentaje de la precipitación anual. Por tanto, en esa franja cabe esperar la mayor irregularidad pluviométrica y, a igualdad de sustrato litológico, tipo edáfico, cubierta vegetal, etc., los procesos hídricos más agresivos sobre el suelo.

En la provincia de Alicante se ha encontrado una vinculación bastante fuerte entre la distribución espacial del índice de concentración pluviométrico (CI5) y la distribución espacial de los episodios torrenciales de la precipitación. Esta vinculación se observa más claramente mediante la comparación de los mapas donde se encuentran las áreas más afectadas por estos episodios torrenciales, que coinciden con las áreas de alta concentración pluviométrica.

La muestra analizada en la provincia de Alicante permite concluir que, en un medio edáfico tan especial, por sus características de acusada aridez, típicas, por otra parte, de todo el Sureste español, la intensidad de la precipitación propia de cada episodio, por lo

tanto, la concentración temporal de la precipitación, en unos minutos, en unas horas, a lo sumo en una o dos jornadas, es el factor clave en la respuesta hidrológica (inundación). Al respecto, un par de los episodios estudiados tuvo el carácter de *flash flood* (270 mm en 6 horas), algo propio de la fachada mediterránea de la Península Ibérica. A una escala espacial más amplia sí que puede afirmarse, por los valores del CI5, que la parte septentrional de la provincia de Alicante se sitúa en el área con mayor concentración diaria y con una respuesta hidrológica más compulsiva de la Península Ibérica.

Los episodios analizados son una muestra de que en el sureste de España los valores pluviométricos presentan rangos muy diversos, contrastados e irregulares, pero, en cambio, una génesis sinóptica bastante coincidente, casi exclusiva de situaciones atmosféricas de gran inestabilidad, como vaguadas, gotas frías y depresiones dinámicas. Esto permite su previsión meteorológica, aun contando con la aleatoriedad típica de los procesos convectivos implicados.

Finalmente, se advierte de la necesidad de disponer de más registros pluviográficos, dada precisamente la irregularidad y concentración temporal de la precipitación, con el objeto de establecer conclusiones estadísticas, climáticas e hidrológicamente significativas. Ello ha de redundar, además, en el conocimiento de la posible afección que pueda tener el cambio climático actual en la lluvia y los caudales del sureste de España, que, como en el resto de la cuenca del Mediterráneo, está entre las regiones más críticas del planeta.

5. Bibliografía

- ALIJANI, B. J., O'BRIEN y YARNAL, B. (2008): Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical Applied Climatology*, 94: 107-124 pp.
- DE LUIS, M., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C. y 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 pp., Universidad de Valencia.
- DE LUIS, M., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., RAVENTÓS, J., SÁNCHEZ J. R. y CORTINA J. (1997): Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la Comunidad Valenciana. *Cuaternalario y Geomorfología*, 11(3-4): 33-44 pp.
- FERNÁNDEZ, F. (1995): *Manual de climatología aplicada. Clima, medioambiente y planificación*. Madrid, Síntesis, 285 pp.
- GIL OLCINA, A. y MORALES, A. (Eds) (1989): *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, 586 pp.
- JOLLIFFE, I. T. y HOPE, P. B. (1996): Representation of daily rainfall distributions using normalized rainfall curves. *International Journal of Climatology*, 16: 1157-1163 pp.
- MARTÍN-VIDE, J. (1984): Análisis de la irregularidad de la precipitación diaria en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica. *Revista de Geofísica*, 40: 101-106 pp.
- MARTÍN-VIDE, J. (2004): Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *International Journal of Climatology* 24: 959-971 pp.
- MARTÍN-VIDE, J Y OLCINA, J. (2001): *Climas y Tiempos de España*. Alianza Editorial. Col. El libro universitario, Madrid, 258 pp.
- OLASCOAGA, M. J. (1950): Some aspects of Argentine rainfall. *Tellus*, 2(4): 312 pp.

- OLMEDO COBO, J. A. Y VILLACRECES SÁEZ, M. A. (2008): Episodio de lluvias torrenciales del 21 de septiembre de de 2007. Las inundaciones de Almuñécar. Universidad de Granada. Cuadernos geográficos, 42 (2008-1), 123-148 pp.
- RIEHL, H. (1949): Some aspects of Hawaiian rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 3(5): 176 pp.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A. Y MARTÍN-VIDE, J. (2006): «Distribución espacial de la concentración pluviométrica diaria en la Península Ibérica». *Proceedings 5ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, sesión Climatología y Cambio Climático.

Fuentes digitales:

www.aemet.es

www.eumetsat.int

www.sat24.com

www.wetterzentrale.de