

Clima, Sociedad y Medio Ambiente

J.M. Cuadrat Prats
M.A. Saz Sánchez
S.M. Vicente Serrano
S. Lanjeri
M. de Luis Arrillaga
J.C. González-Hidalgo



Publicaciones de la
Asociación Española de Climatología (AEC)
Serie A, nº 5

CRITERIOS DE SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE EPISODIOS DE LLUVIA. APLICACIÓN A LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR (1989-2003)

Ana M. CAMARASA BELMONTE y M. José LÓPEZ GARCÍA
Departament de Geografia. Avda Blasco Ibañez, 28. 46010 Valencia
Universitat de València

RESUMEN

El análisis espacio-temporal de la lluvia precisa de la identificación de episodios, en función del objetivo de la investigación y la escala de trabajo. En esta comunicación se proponen criterios de selección de episodios, con objetivos hidrológicos, y se aplican al territorio de la Confederación Hidrográfica del Júcar, en base a los datos diarios de 15 años (1989-2003), proporcionados por el Sistema Automático de Información Hidrológica. Se seleccionan 363 episodios y se caracterizan en base a indicadores de total, duración, intensidad e irregularidad, calculados en once unidades territoriales. El análisis de estos indicadores evidencia una dicotomía litoral-interior. El ámbito litoral (exceptuando Alicante) registra el mayor número de episodios, fundamentalmente en invierno, con un aporte más importante y mayor irregularidad. Por el contrario, en el ámbito de interior los episodios son de menor intensidad y mayor presencia en verano. El efecto orográfico es importante, no sólo por la altitud, sino por la orientación de las cadenas montañosas.

Palabras clave: episodio de lluvia, lluvias torrenciales mediterráneas, SAIH

ABSTRACT

Before analysing the variability of rainfall in space and time it is necessary to select rainfall events in relation to the objectives and scale of the study. This paper proposes criteria for selecting rainfall events, with hydrological objectives. These criteria are then applied to the territory of the River Jucar Water Authority and the daily data covering a 15 year period (1989-2003) recorded by the Automatic Hydrological Information System (SAIH). 363 events are chosen and characterised by indicators of total rainfall, duration, intensity and irregularity calculated over 11 regional units. The analysis of these indicators shows a littoral-interior dichotomy. The largest number of events were recorded near the coast (except in one region), mostly in winter, with greatest volumes and higher irregularity. In the interior the events were less intense and more frequent in summer. The orographic effect is important, not just in relation to altitude but also in relation to the orientation of the mountain ranges.

Key words: rainfall event, Mediterranean extreme rainfall, Automatic Hydrological Information System

1. DEFINICIÓN DE EPISODIOS DE LLUVIA: UNA CUESTIÓN DE ESCALA Y OBJETIVOS

El análisis de la distribución espacio temporal de las precipitaciones es de gran importancia para el estudio del ciclo hidrológico y la gestión del agua, tanto a nivel de recurso como de

riesgo. Para caracterizar el recurso son habituales los análisis de base anual, estacional y mensual, en relación con las situaciones meteorológicas propias de una zona. El riesgo, por su parte, suele abordarse a partir de datos extremos, bien a escala diaria (máximos en 24 horas), horaria (discretización habitual de la intensidad de lluvia) o instantánea (máximas absolutas registradas por los pluviógrafos).

En ambos tipos de estudios, los marcos de referencia temporal son bastante estándares y ofrecen datos que, a nivel climatológico, resultan fácilmente comparables entre diferentes entornos. Desde un punto de vista de gestión hídrica, sin embargo, la representatividad de estos datos está muy condicionada por el entorno morfoclimático, de manera que medias anuales, o mensuales, tienen mayor sentido en un clima húmedo, de patrones más uniformes, que en uno árido o semiárido. Asimismo, tomar como referencia las máximas diarias, en los estudios de fenómenos extremos, resulta más adecuado para entornos más regulares que para zonas de comportamiento torrencial, donde debe bajarse a la intensidad horaria o minutil.

En los ámbitos mediterráneo y semiárido, donde un único suceso puede llegar a duplicar, incluso triplicar, la media anual, el estudio de episodios concretos adquiere cada vez más importancia. En los últimos años, junto a las investigaciones sobre la distribución espacio-temporal de la precipitación diaria (Esteban-Parra *et al.*, 1998; De Luís *et al.*, 2000; Brunetti *et al.*, 2001; Romero *et al.* 1999; Lana *et al.* 2004), se observa una gran atención a las lluvias torrenciales (Martín Vide, 1994; ; Peñarrocha *et al.*, 2002; Lana *et al.* 1995; Millán *et al.*, 1995) y al estudio de episodios concretos (Greensbaum *et al.* 1998; Saaroni y Baruch, 2000; Coppus and Imenson, 2002; Homar *et al.*, 2002; Morell y Pérez-Cueva, 2000; Chien-Yuan *et al.*, 2005). Además, es cada vez más frecuente abordar los episodios desde el concepto de intensidad horaria o minutil (Bull *et al.* 1999; Llasat, 2001; Camarasa y Segura, 2001; Camarasa y Tilford, 2002; Cammeraat, 2004).

Pese a la tendencia creciente al estudio de episodios, revisada la bibliografía, no existen criterios claros y consensuados que permitan definir, *a priori*, el concepto de “episodio”. Es fácil encontrar estudios pormenorizados, *a posteriori*, sobre casos torrenciales que han producido inundaciones importantes, como por ejemplo el del Túrria de 1957, los del Júcar en 1982 y 1987 ó, más recientemente, el de octubre del 2000 en la vertiente levantina (Moret y Pérez-Cueva, 2000; Homar *et al.*, 2002).

Aunque no se produzcan consecuencias desastrosas, en aquellos casos en que el suceso se enmarca dentro de un contexto hidrológico concreto (cuena o subcuena fluvial), la detección del episodio lluvioso no presenta mayores problemas, máxime en climas mediterráneos, donde la ausencia de flujo de base, facilita la asociación de una respuesta hidrológica de referencia a un episodio lluvioso (Segura, 1990; Camarasa, 1995).

Sin embargo, la cuestión se complica cuando, a partir de una serie temporal diaria, intentamos detectar episodios de todo tipo, no especialmente torrenciales y sin que exista ninguna cuena hidrológica de referencia. Esto es, cuando interesa conocer todos los episodios, desde los de menor magnitud a los más intensos y desde los más puntuales a los más generalizados.

El establecimiento de criterios de definición de episodio depende de dos cuestiones claves: los **objetivos** de la investigación y la **escala** de trabajo. Los objetivos de la investigación permiten adecuar los umbrales de búsqueda. Por ejemplo: el estudio de individuos convectivos aconseja trabajar con umbrales de intensidad entorno a los 48-50 mm/h y un período aproximado de una hora entre un evento y otro (Llasat, 2001); el estudio de *debris-flow* utiliza la lluvia acumulada durante los 14 días precedentes al suceso y la intensidad horaria de los 5 días anteriores al inicio del movimiento (Chien-Yuan *et al.*, 2005), y el estudio de producción de escorrentía en ramblas maneja umbrales de lluvia acumulada entorno a los 30-60 mm (Camarasa y Segura, 2001; Cammeraat, 2004). Por su parte, la escala

de trabajo permite adecuar la precisión espacio-temporal que debe contemplar el estudio del episodio. Así, por ejemplo, para estudios de tipo climatológico, o de recursos hídricos, deben contemplarse territorios amplios y escalas generales, mientras que para estudios de riesgo deben contemplarse datos puntuales y escalas temporales minutas.

El presente trabajo se inscribe dentro de un proyecto de investigación más amplio cuyo objetivo consiste en detectar umbrales hidrogeomorfológicos de crecida en ramblas mediterráneas, a partir del estudio pormenorizado de episodios. En este contexto, proponemos criterios de selección de episodios, consistentes con objetivos hidrológicos de producción de escorrentía, pero de escala general, sin ninguna cuenca de referencia. Interesa que la selección no esté condicionada a la respuesta hidrológica en una cuenca determinada sino poder detectar todos los episodios susceptibles de generar respuesta hidrológica en alguna de las cuencas. En otras palabras deben definirse criterios de selección generales, *a priori*, y, sobre esa selección, determinar cuales de estos episodios se relacionan con el fenómeno que interese estudiar (en nuestro caso la génesis de crecidas).

La base territorial del estudio es la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) y los datos de precipitaciones provienen del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), con discretización diaria. El período de estudio abarca desde 1989 a 2003. Una vez seleccionados todos los episodios, se han caracterizado con indicadores de total, duración, intensidad e irregularidad y se han establecido diferentes pautas de comportamiento espacio-temporal.

2. DETECCIÓN Y SELECCIÓN DE EPISODIOS EN LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR (CHJ) (1989-2003)

2.1. Los datos y la zona de estudio

Los datos en los que se basa este estudio se han obtenido del SAIH-Júcar, que provee información cincominutal de intensidad de lluvia, en tiempo real. Se eligió esta red porque, como ya se ha indicado, este trabajo forma parte de un proyecto mayor que investiga, entre otras cuestiones, la estructura interna de las tormentas mediterráneas. Era necesario, por tanto, trabajar con la máxima discretización temporal de los datos. El estudio abarca desde 1989 a 2003 y se basa en los datos de 131 pluviómetros.

A partir de los datos SAIH originales, se ha generado una base de datos cincominutal de los 131 pluviómetros para los 15 años. La base de datos contiene más de 15.000.000 de registros y, pese a que está diseñada con criterios de alto rendimiento y velocidad, ha resultado excesivamente grande para la tarea de selección de episodios. Por ello, se ha partido de la base diaria, que contiene la lluvia acumulada en 24 horas, de 0 a 24 h. Este trabajo presenta, por tanto, los resultados preliminares de selección y caracterización de episodios, a partir de los datos diarios de las 131 estaciones del SAIH, desde 1989 a 2003.

El área de estudio abarca todo el territorio adscrito a la Confederación Hidrográfica del Júcar (43.000 km²). Constituye una unidad fisiográfica en sí misma y contiene todas las cuencas fluviales que vierten en la Comunidad Valenciana, desde las cabeceras hasta el mar. Presenta una variada configuración geográfica, derivada de una topografía contrastada (sierras de dirección ibérica al norte, bética al sur y relieve muy compartimentado), así como de una clara diferenciación entre las áreas litorales de influencia marítima y las de interior.

2.2. Criterios de selección de episodios y metodología

La definición de episodios debe de estar en función de los objetivos de la investigación y de la escala de trabajo. En nuestro caso el objetivo principal está en relación con la respuesta hidrológica, aunque con un marco amplio. Interesan tanto los episodios que producen grandes crecidas, como aquellos que se mueven en torno al umbral de generación de escorrentía, o incluso por debajo. En consecuencia, deben tenerse en cuenta algunas cuestiones previas, a la hora de definir los criterios de selección:

- El umbral de agua precipitada no debe ser muy bajo porque introduciría excesivo ruido en el análisis. No es aconsejable usar el umbral de día lluvioso de 0.1 mm. Si bien algunos autores (Saaroni y Ziv, 2000; Martín Vide, 2004) resaltan la contribución de estos días a los recursos hídricos, habida cuenta de la gran frecuencia de casos que presentan, en nuestro caso, tiene más sentido el umbral de 5 mm diario que proponen Romero *et al.* (1999). Tampoco son adecuados, por otra parte, umbrales muy altos, como los que utilizan Peñarocha *et al.* (2002) de 125 mm al día, o Armengot (2002), de 100 mm al día, porque limitaría la selección a sucesos torrenciales.
- Los episodios deben tener en cuenta la continuidad temporal, porque el proceso de generación de escorrentía precisa de un tiempo de saturación de los suelos. No podemos seguir criterios de individualización de episodios de base exclusivamente climatológica, fijando un umbral de lluvia por día (Romero, 1999; Armengot, 2002; Peñarocha *et al.*, 2002). Este tipo de selección podría llevarnos a considerar como episodios distintos dos días seguidos de lluvia que superaran el umbral en cuestión, aún cuando, desde el punto de vista hidrológico, constituyera el mismo suceso. Al mismo tiempo, se debe tener cuidado de no incluir diferentes episodios en uno sólo, porque esto podría alterar los indicadores de respuesta hidrológica de las cuencas (balances hídricos, tiempos de respuesta, etc...).
- La lluvia tiene que tener cierta presencia espacial, ya que sucesos registrados en un único pluviómetro no tienen mucha probabilidad de producir escorrentía. En este sentido, algunos autores aseguran esa entidad espacial condicionando los umbrales de lluvia a un porcentaje de estaciones. Por ejemplo Romero *et al.*, (1999) consideran días con *lluvia significativa* aquellos en que al menos el 5% de las estaciones registran 5 mm; Peñarocha *et al.* (2002) consideran *días torrenciales* aquellos en que llueve más de 125 mm en, como mínimo, el 2% de las estaciones.
- Interesa seleccionar también los casos excepcionalmente intensos, aunque resulten muy puntuales, porque superan la capacidad inicial de infiltración del suelo, generando escorrentía, aún cuando no se hayan alcanzado los umbrales de saturación. Sirva como ejemplo el suceso de 1 de julio de 1993, donde, en el observatorio de Manuel, se llegaron a superar los 350 mm/h (Camarasa, 1994).
- Por último, interesa recoger el máximo número de episodios, con objeto de crear un marco amplio de casos, donde interpretar aquellos que presentan respuesta hidrológica.

Para abordar nuestro análisis, el primer paso ha sido establecer unidades espaciales (zonas) que agruparan pluviómetros próximos entre sí y permitieran la promediación y espacialización de los datos puntuales (Brunetti *et al.*, 2001). Dada la amplitud y heterogeneidad del territorio de la CHJ, se definieron 11 zonas de extensión variable pero que conforman áreas geográficas homogéneas (Figura 1). Se pretende detectar los episodios en base a unidades espaciales de entidad suficiente como para abordar la escala de trabajo de la CHJ. Para cada una de estas zonas se calcularon dos estimadores básicos de la lluvia media

diaria: una media general ($\overline{P_z}$), que tiene en cuenta todos los pluviómetros de la zona, y otra media local ($\overline{PL_z}$), que calcula el promedio, únicamente, entre los pluviómetros donde esta lloviendo en dicha zona. En el primer caso se obtiene un indicador superficial de cantidad de lluvia y en el segundo un indicador de intensidad.



Fig. 1: Confederación Hidrográfica del Júcar. Localización de las zonas de análisis y situación de los pluviómetros SAIH

A partir de estos datos, se han definido los siguientes criterios para la selección de episodios:

- a) Se considera un episodio de varios días cuando alguna de las *zonas* registra un mínimo de dos días seguidos con una *lluvia media general* ($\overline{P_z}$) de, al menos, 5 mm diarios en la misma zona. Se ha comprobado que por debajo de este umbral las precipitaciones son excesivamente puntuales o de muy baja intensidad. Cammeraat (2004) corrobora que, en entornos mediterráneos, si bien el umbral de producción de escorrentía en cuenca supera los 30 mm, a escala de ladera, episodios superiores a 5 mm pueden llegar a producir flujo Hortoniano en la parte superior de las laderas. También Romero *et al.* (1999) proponen los 5 mm como umbral, siempre que se registre en al menos el 5% de las estaciones.
- b) Se considera un episodio de día único, cuando en alguna *zona* se registra una *lluvia media general* ($\overline{P_z}$) de al menos 10 mm (sin que ni el día anterior ni el posterior alcancen los 5 mm de umbral del criterio anterior), o una *media local* ($\overline{PL_z}$) superior a 40 mm. En el primer caso se fija el umbral para los episodios de día único más pequeños que se van a tener en cuenta y, en el segundo, se intenta recoger aquellos que, independientemente de la de lluvia que registren, sean muy intensos.

En la serie temporal diaria, los episodios quedan separados por días que, aunque pueden registrar precipitación, los valores medios por zona no alcanzan los umbrales mínimos estipulados.

2.3. Resultados

Aplicando estos criterios a los 15 años de estudio, y tras una depuración manual de la selección automática, con objeto de eliminar los datos erróneos, se obtuvo una selección de 363 episodios, 116 de día único y 247 de varios días.

Con objeto de comprobar la capacidad del método, y de asegurarnos de que no se estaban pasando por alto eventos de interés, se verificó la información de varios modos:

- a) Se corroboró que estaban siendo seleccionados todos los episodios de los que se tenía referencia por otras fuentes de información:
 - El Servicio de Protección Civil para la Comunidad Valenciana y la Confederación Hidrográfica del Júcar.
 - Referencias de prensa sobre aquellos episodios que habían producido algún problema de inundación
 - Referencias bibliográficas, de autores que habían estudiado episodios sobre la Comunidad Valenciana y una parte del período de análisis coincidía con el nuestro (Armengot, 2002 y Peñarocha *et al.*, 2002). También se comprobó la coherencia de fechas con algunos episodios que se produjeron simultáneamente en Murcia (Cammeraat, 2004).
- c) Se comprobó que aparecieran todos los sucesos que habían registrado respuesta hidrológica en dos cuencas piloto (Barranc de Carraixet y Rambla de Poyo).
- d) Se verificó la estructura cincominual de aquellos episodios que, a escala diaria, resultaban dudosos.

3. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LOS EPISODIOS

Una vez seleccionados los episodios se han calculado, para cada uno de ellos, los siguientes indicadores:

- *Duración* : número de días que dura el episodio.
- *Lluvia media en la CHJ* (mm) ($\overline{P_{CHJ}}$): Se obtiene de calcular la lluvia media de cada episodio utilizando todos los pluviómetros de la CHJ. Es un indicador de la aportación general para todo el territorio.
- *Lluvia media en zona* (mm) ($\overline{P_{z-m}}$): Constituye un indicador espacial de la focalización del episodio Para cada episodio, se selecciona la lluvia media de la zona que mayores valores ha registrado.
- *Lluvia máxima en zona* ($\overline{P_{MAX}}$): Valor máximo de la lluvia media en zona de todos los episodios. Es un indicador de los episodios más torrenciales.
- *Índice de Intensidad Local (IIL)*: Número de veces en que la *media local* ($\overline{PL_z}$) supera los 40 mm/diarios. Constituye un indicador de episodios muy intensos aunque sean de carácter muy concentrado.

Utilizando estos indicadores se ha llevado a cabo un análisis preliminar de los episodios, enfatizando su distribución temporal, de base mensual; su estructura espacial, en función de la

zona donde se focaliza el episodio y, su estructura espacio-temporal, diferenciando por magnitud.

3.1. Distribución temporal de los episodios de lluvia

En la tabla 1 se muestra la distribución mensual de los episodios junto con los valores medios de los indicadores. El mayor número de episodios se produce, como era de esperar, en septiembre (12,4% de los episodios), seguido de mayo (10,5%). En los meses de verano es donde menos episodios se producen (julio, 4,4%). Sin embargo, más que el número de episodios interesa analizar la cantidad de agua que suponen y la intensidad que alcanzan.

MESES	INDICADORES DE LOS EPISODIOS										
	Nº de episodios		Duración media (días)	Lluvia media por episodio en la CHJ \overline{P}_{CHJ}			Lluvia media en zona \overline{P}_{z-m}			Lluvia máxima en zona \overline{P}_{MAX}	Índice de Intensidad Local III
	mm	%		mm	%	CV*	mm	%	CV*	mm	
Enero	32	8,8	2,3	10,7	7,6	79,1	29,7	7,4	73,4	107,5	8
Febrero	20	5,5	2,7	14,4	10,2	102,7	42,9	10,7	87,6	122,0	16
Marzo	29	8,0	2,1	11,2	7,9	75,1	31,7	7,9	66,3	93,3	9
Abril	27	7,4	2,3	15,5	11,0	87,6	42,9	10,7	89,6	167,4	22
Mayo	38	10,5	2,2	12,3	8,7	151,8	32,3	8,1	163,9	288,0	21
Junio	26	7,2	1,9	8,2	5,8	106,6	24,3	6,1	72,9	80,8	9
Julio	16	4,4	1,6	5,4	3,9	61,0	19,0	4,8	50,2	42,0	3
Agosto	26	7,2	1,8	7,0	4,9	71,1	21,9	5,5	63,3	77,2	14
Septiembre	45	12,4	2,4	12,3	8,7	119,6	33,9	8,5	115,4	213,7	25
Octubre	36	9,9	2,4	17,4	12,3	152,9	43,7	10,9	130,1	313,2	31
Noviembre	32	8,8	2,3	11,1	7,9	96,9	36,0	9,0	105,5	188,0	13
Diciembre	36	9,9	2,6	15,7	11,1	93,6	41,9	10,5	101,7	199,3	23
TOTAL	363	100	2,2	11,8	100	99,8	33,4	100	93,3	313,2	194

* Coeficiente de Variación en %

Tabla 1. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE INDICADORES DE EPISODIOS EN LA CHJ (1989-2003)

Los episodios que más recursos medios suponen para el conjunto de la CHJ se producen en octubre, diciembre, abril y febrero. Llama la atención este último ya que, si bien es el mes que, exceptuando julio, menor nº de episodios registra (5,5%), supone un aporte del 10% del agua precipitada en la CHJ. Es también el mes donde los episodios duran más (2.7 días) y donde se alcanzan mayores aportes medios por zona.

Si observamos la distribución mensual de la lluvia media en zona (\overline{P}_{z-m}) corroboramos que, los meses donde se producen mayores aportes, son los mismos que en la CHJ (\overline{P}_{CHJ}). Existe una fuerte correlación ($r^2=0.94$) entre las medias de la zona de referencia y las de toda el área de estudio (véase figura 2). No es frecuente que los episodios afecten de forma simultánea a todo el territorio de la CHJ (salvo episodios como el de octubre del 2000), sino que, por lo general, la media en la CHJ está muy condicionada por las aportaciones de las zonas donde se focaliza la tormenta.

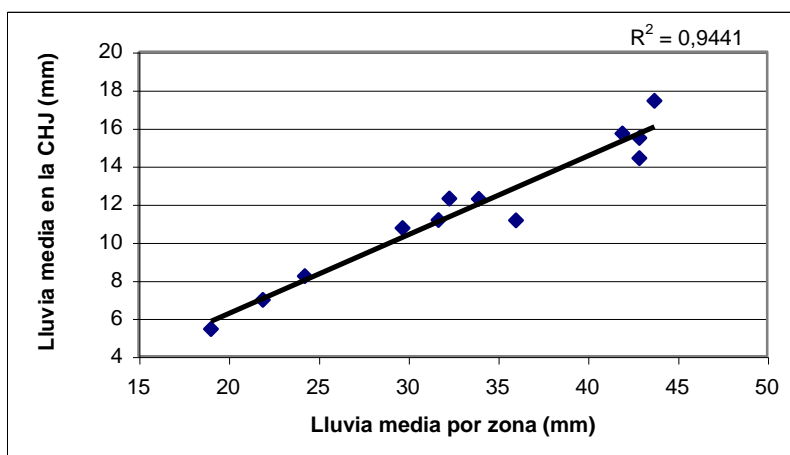


Fig. 2: Influencia de la lluvia por zona ($\overline{P_{z-m}}$) en la media de la CHJ ($\overline{P_{CHJ}}$)

Por otra parte, si observamos los máximos valores registrados entre las medias de lluvia en zona para cada período, los máximos valores siguen siendo en otoño, con $\overline{P_{MAX}} = 313,2$ mm en octubre, seguido de la primavera con 288 mm en mayo. Las zonas que aportan estos máximos son diferentes, mientras en octubre se registra en Gandía, de ubicación litoral, y asociada a temporales de levante, en abril es en Arenós, eminentemente interior y asociada a temporales del Oeste.

También se ha calculado, como indicador de irregularidad, el coeficiente de variación (CV), tanto de la lluvia media en la CHJ como de las medias por zona. Los mayores valores se producen durante los meses de octubre (152% para la media en CHJ y 130% para la media en zona) y mayo (152% en la CHJ y 163% en zona).

Por lo que respecta al indicador de intensidad local (IIL), los meses en los que más veces la *media local* supera los 40 mm/diarios son los de otoño (octubre con 31 ocasiones y septiembre con 25). El mes que presenta menor IIL es julio, debido a la escasez de episodios registrados durante el verano. Llama la atención, sin embargo, el mes de agosto que, pese a que sólo registra un 7,2% de los sucesos, presenta una intensidad superior a noviembre, marzo, junio, incluso enero. Esto es debido al comportamiento torrencial de las tormentas convectivas de verano, sobre todo en aquellos años de verano más corto, donde a finales de agosto comienza a registrarse ya un comportamiento de tipo otoñal.

3.2. Distribución espacial de los episodios

Con objeto de identificar patrones de distribución espacial en los episodios seleccionados, se han calculado los valores medios de los indicadores definidos tomando como referencia cada una de las unidades espaciales o *zonas* donde se focalizan los episodios (tabla 2). Estos datos también se han representado cartográficamente en la figura 3.

Zona donde se focaliza el episodio	Nº de episodios	Lluvia media por episodio en la CHJ (mm) \overline{P}_{CHJ}	Lluvia en zona por episodio			Índice de Intensidad Local ILL
			Media (mm) \overline{P}_{z-m}	Desviación estándar	Máxima (mm) \overline{P}_{MAX}	
Valencia*	38	13,9	32,0	21,06	80,8	19
Castellón*	47	18,4	41,4	51,89	313,2	41
Arenós	39	7,7	21,1	14,2	89,8	9
Guadalaviar	24	7,5	21,0	9,54	45,5	1
Alarcón	19	6,0	22,3	15,46	77,2	14
Contreras	62	7,1	20,0	11,5	63,1	6
Benagéber	15	7,5	18,1	15,64	64,2	7
Alzira *	18	14,6	33,9	25,05	107,5	14
Cofrentes	7	6,9	14,0	4,2	23,2	0
Alicante*	7	5,4	15,5	3,42	20,7	0
Gandía*	87	17,7	59,1	54,01	288	83

(*) zonas de fachada litoral

Tabal 2: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE EPISODIOS EN LA CHJ (1989-2003)

El mayor número de episodios registrados se localiza en la zona de Gandía y el menor en Cofrentes y Alicante. En general, los datos ponen de manifiesto un comportamiento diferente entre las zonas de la fachada litoral (excepto Alicante) y las del interior. En cuanto a la precipitación media en la CHJ, se superan los 10 mm por episodio cuando la lluvia aparece focalizada en las zonas de litoral, especialmente si está sobre Castellón o Gandía (donde se alcanzan valores próximos a 20 mm).

Como era de esperar, la lluvia media por zona (figura 3a) reproduce este patrón. Supera los 30 mm en el ámbito litoral (siempre exceptuando Alicante), con valores mayores a 40 mm en las zonas de Gandía y Castellón. La menor precipitación media por zona (< 20 mm) se da en Benagéber, Cofrentes y Alicante. El resto presenta un comportamiento intermedio.

Respecto a la precipitación máxima en zona (figura 3b) son de nuevo Castellón y Gandía las que alcanzan los mayores valores (313 y 288 mm respectivamente), seguidas de las unidades espaciales de costa: Alzira (108 mm) y Valencia (81 mm). También se alcanzan valores altos (90 mm) en la zona de Arenós en las inmediaciones de las alineaciones ibéricas. Las áreas que registran las máximas más bajas son Alicante y Cofrentes.

La desviación estándar de los valores medios en zona constituye un indicador de la mayor irregularidad en los episodios de litoral (Gandía, Castellón, Alzira y Valencia), seguida de las zonas situadas en las sierras ibéricas (Benagéber, Alarcón, Arenós, Contreras y Guadalaviar) y, con valores inferiores a 5 mm, Cofrentes y Alicante (Figura 3.c)

Finalmente, los valores del IIL (*media local* > 40 mm) apuntan claramente a la zona de Gandía, donde se ha alcanzado este umbral en más de 80 ocasiones, seguida a distancia de Castellón (41 veces). De nuevo, llaman la atención los casos de Cofrentes y Alicante donde, en ninguna ocasión se ha alcanzado el umbral (Figura 3.d).

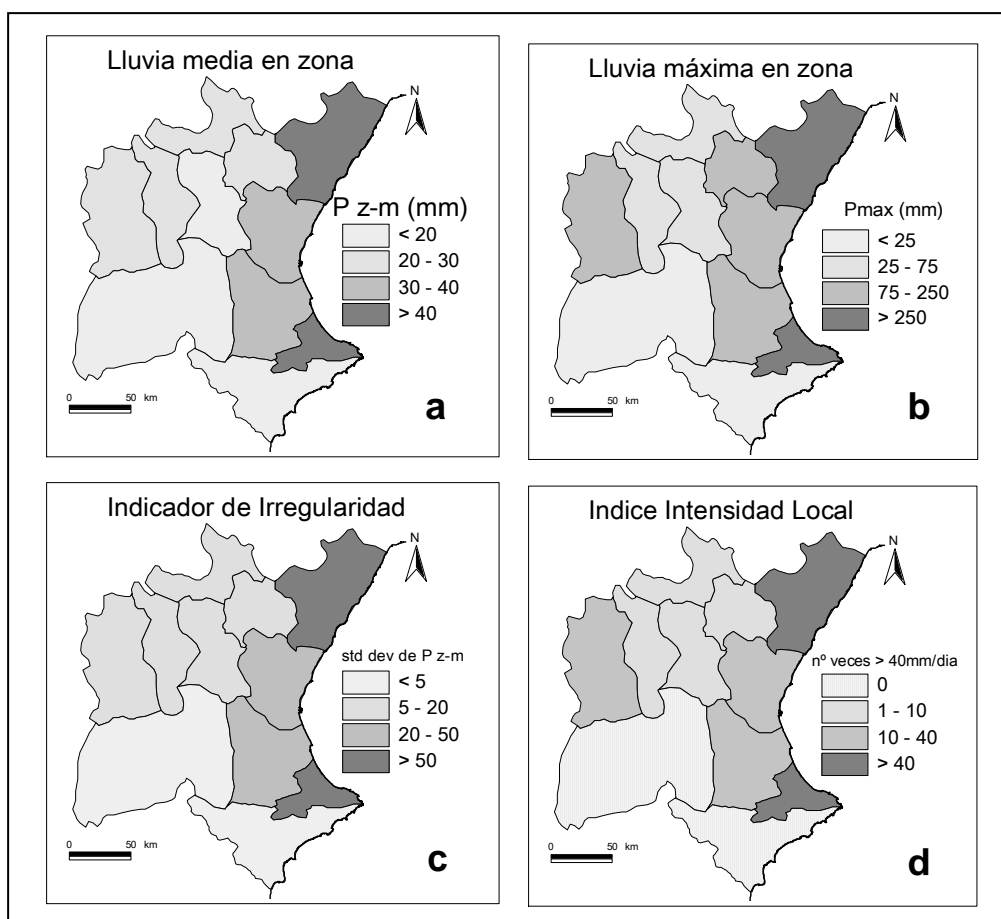


Fig. 3: Mapas de indicadores de episodios por zonas

Todo parece indicar que las zonas litorales (exceptuando Alicante), ligadas a episodios de levante presentan un tipo de episodio más torrencial e intenso que las cuencas de interior, más relacionadas con episodios del Oeste. En cuanto a la influencia del relieve, junto al consabido efecto de la altitud, es importante destacar la influencia de la orientación de las alineaciones montañosas. En este sentido, mientras las sierras ibéricas constituyen una vía de entrada y disparo de los episodios de levante, las sierras béticas, si bien potencian la formación de episodios en Gandía, suponen un inhibidor de los mismos en la zona de Alicante. Todos estos resultados son coherentes con la bibliografía al respecto (Romero *et al.*, 1999; Armengot, 2002; Peñarocha *et al.*, 2002).

3.3. Dicotomía interior-litoral por magnitud de episodio

Habida cuenta de la dicotomía interior-litoral que se desprende del apartado anterior, se han agrupado las zonas en dos grandes ámbitos: litoral e interior. Dentro del litoral incluimos las zonas de Valencia, Castellón, Alzira y Gandía. El interior recoge el resto, incluida Alicante, porque, a pesar de ser un área costera, presenta un comportamiento más parecido al de las zonas de interior, debido al aislamiento de los flujos del E y NE, al que la somete la barrera montañosa de las béticas.

El ámbito litoral registra mayor número de episodios (190) que el interior (173). Esta distribución varía según la magnitud del episodio. La figura 4 representa el total de episodios agrupados en 7 intervalos según la lluvia media en zona. En cada barra se distingue entre los episodios correspondientes a zonas de litoral y de interior. Dos comportamientos llaman la

atención: la mayor parte de los episodios de menos de 20 mm se registran en el interior, mientras que, por encima de los 100 mm , el 100% de los sucesos se registran en el ámbito litoral.

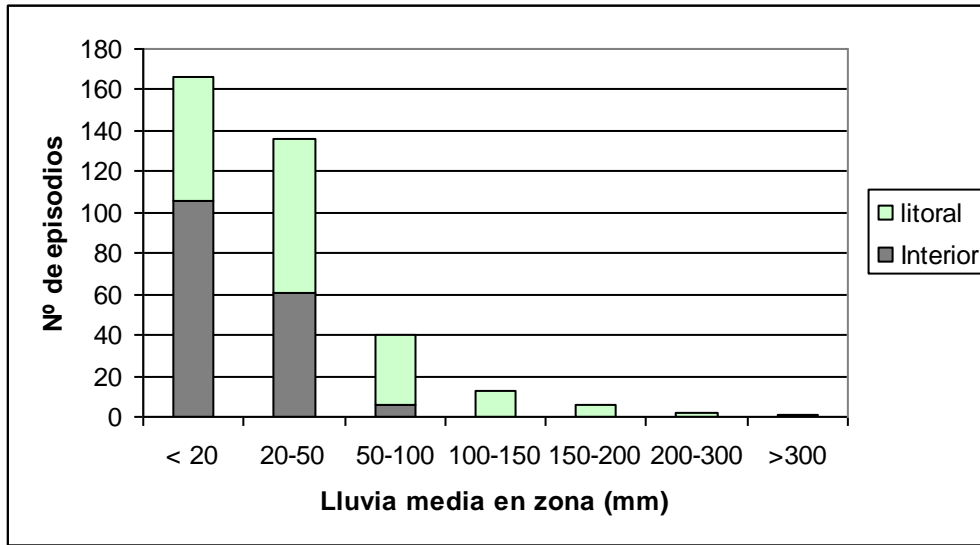


Fig. 4: N° de episodios por magnitud.

La distribución mensual de sucesos (figura 5) refleja también dos comportamientos: durante los meses de invierno predominan los episodios focalizados en el ámbito litoral mientras que, durante el verano, predominan los del interior. En las zonas de interior, mayo es el mes en el que se producen mayor número de episodios (23); en el litoral, es septiembre cuando predominan los episodios (26). Existen dos meses, abril y octubre, con un número de eventos similar en los dos ámbitos, que podrían considerarse de transición, entre un comportamiento y otro. Así, en abril se inicia el cambio entre una situación marcada por episodios de predominio litoral, a otra marcada por los de interior. Este predominio se mantiene durante el verano. El mes de septiembre inicia el cambio de tendencia, con un una clara superioridad de los sucesos de litoral, pero es a partir del mes de octubre, cuando se consolida el comportamiento de invierno.

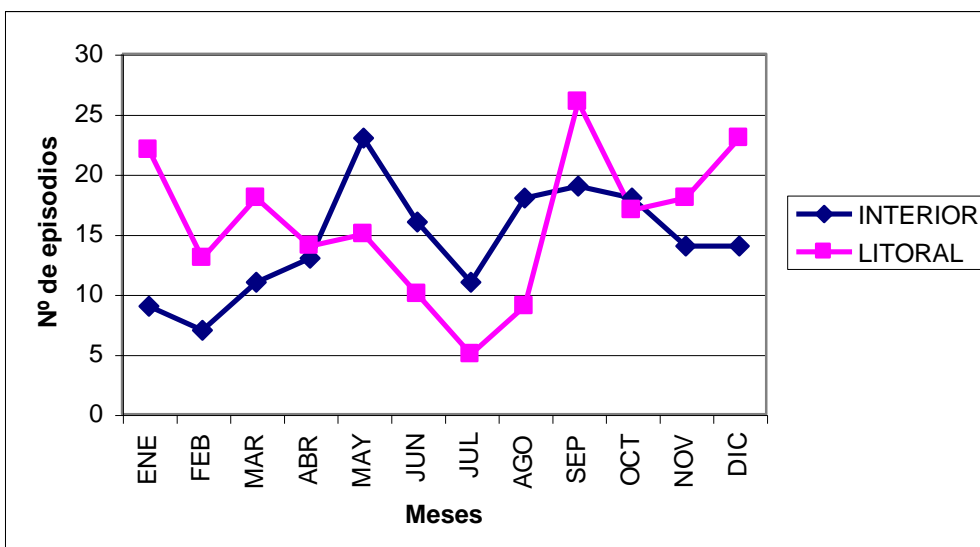


Fig. 5: Distribución mensual del n° de episodios por ámbitos (interior, litoral).

La dicotomía de comportamientos está relacionada con varios factores. Por una parte, los episodios de interior están ligados a flujos del Oeste, que tras atravesar la península han perdido humedad y presentan un tipo de lluvia generalizada, de cierta continuidad temporal, pero poca intensidad. A estos casos se suman las lluvias producidas por flujos de levante que penetran desde el litoral, forzados a ascender, por efecto del relieve, y que, con frecuencia, originan episodios de mayor persistencia que intensidad.

El ámbito litoral, por su parte, focaliza los episodios más intensos y, en consecuencia, los que totalizan la mayor cantidad de lluvia. Normalmente se trata de lluvias convectivas, ligadas a situaciones de levante en superficie, potenciadas por flujos fríos en altura y por el efecto orográfico. Asimismo la inercia térmica del Mediterráneo, al final del verano, incrementa la temperatura del aire de superficie, exagera el gradiente térmico vertical y propicia la precipitación. Todo esto se refleja en que el mayor nº de episodios se registra durante el mes de septiembre en el ámbito litoral. En verano, sin embargo, la influencia del mar refuerza la estabilidad atmosférica impuesta por el anticiclón de las Azores, en el litoral. Por tanto, los episodios se concentran más en el interior, sobre todo, en los sectores montañosos.

4. CONCLUSIONES

La identificación de episodios de lluvia precisa de unos criterios claros de definición teniendo en cuenta el objetivo de la investigación y la escala de trabajo. Partiendo de objetivos hidrológicos, se han propuesto criterios de selección que han permitido identificar 363 episodios en el territorio de la CHJ, en un período de 15 años. La caracterización de estos episodios se ha basado en indicadores de la lluvia calculados en once unidades territoriales de análisis, denominadas *zonas*.

Los resultados presentados en este artículo tienen un carácter preliminar ya que abordan el estudio desde la escala temporal diaria, estando previsto el análisis con las series cincominutales.

El análisis temporal de estos indicadores ha puesto de manifiesto que el mayor número de episodios se produce en septiembre(12,4%), seguido de mayo (10,5%). Sin embargo los episodios que más recursos medios suponen para la CHJ se dan en octubre (12,3%), diciembre (11,1%) y abril (11%). Las máximas aportaciones por zona se registran en octubre (313 mm), que es también el mes que presenta mayor irregularidad (CV=152%) y, junto con septiembre, mayor intensidad local.

El análisis espacial resalta que la lluvia media por episodio en la CHJ está muy condicionada por las aportaciones de las zonas donde se focaliza la tormenta. Los mayores valores, tanto de precipitación media como máxima, por *zona*, se dan en Gandía (59,1 y 288 mm respectivamente) y Castellón (41,4 y 313,2 mm) mientras que los menores valores se registran en Cofrentes (14 y 23,2 mm) y Alicante (15 y 20,7 mm). Gandía presenta la mayor intensidad local.

El análisis espacio-temporal de los episodios evidencia una dicotomía litoral-interior. El ámbito litoral -que agrupa las zonas costeras (exceptuando Alicante)- registra mayor número de episodios (190) que el interior (173). Un análisis por magnitud pone de manifiesto que, la mayor parte de los episodios de menos de 20 mm de media por zona, se registran en el interior, mientras que, el total de los que superan los 100 mm, se registran en el ámbito litoral. La distribución mensual también refleja dos comportamientos: uno de invierno, donde el mayor número de episodios se focaliza en el ámbito litoral, y otro de verano, donde lo hace en

el interior. Existen dos meses, abril y octubre, que podrían considerarse de transición entre un comportamiento y otro.

Esta dicotomía de comportamiento evidencia que los episodios más torrenciales, intensos e irregulares se dan en el ámbito litoral, ligado a flujos de levante, mientras que, en el interior, los episodios, ligados a flujos del Oeste, son más regulares y menos intensos. La influencia del relieve resulta fundamental pero, junto al consabido efecto de la altitud, destacamos la importancia de la orientación de las alineaciones montañosas. En este sentido, mientras las sierras ibéricas constituyen una vía de entrada y disparo de los episodios de levante, las sierras béticas, si bien potencian la formación de episodios en la zona de Gandía, suponen un inhibidor de los mismos en la zona de Alicante. Este hecho explica que Alicante, a pesar de ser zona costera, presente indicadores más coherentes con el ámbito de interior que de litoral.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto REN2003-07171, cofinanciado por fondos FEDER. Agradecemos la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Júcar, en especial al SAIH por facilitarnos los datos en los que se basa el estudio, y a los Servicio de Protección Civil (Gobierno Civil y Generalitat Valenciana) por permitirnos el acceso a sus bases de datos.

6. REFERENCIAS

- ARMENGOT, R. (2002): *Las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana*, Ministerio de Medioambiente, 263 p.
- BRUNETTI, M.; COLACINO, M.; MAUGERI, M. y NANNI, T. (2001): "Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996", *International Journal of Climatology*, 21, pp 299-316.
- BULL, L.J.; KIRKBY, M.J.; SHANNON, J. y HOOKE, J.M. (1999): "The impact of rainstorms on floods in ephemeral channels in southeast Spain", *Catena*, 38, pp 191-209.
- CAMARASA, A.M. (1994): La intensidad de la precipitación. En: PÉREZ-CUEVA, A. (ed.): *Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana*, Generalitat Valenciana, pp 100-101.
- CAMARASA, A. M. (1995). Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo. MOPT-Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- CAMARASA, A.M. y SEGURA (2001): Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain, *Catena*, 45, pp 229-249.
- CAMARASA, A.M. y TILFORD, K. (2002): Rainfall-runoff modelling of ephemeral streams in the Valencia region (Eastern Spain), *Hydrological Processes*, 16 (17), pp 3329-3344.
- CAMMERAAT, E. (2004): "Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, pp 317-332.
- COPPUS, R. y IMENSON, A.C. (2002): "Extreme events controlling erosion and sediment transport in a semi-arid sub-andean valley", *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 1365-1375.
- CHIEN-YUAN, C.; TIEN-CHIEN, C.; FAN-CHIEH, Y.; WEN-HUI, Y. Y CHUN-CHIEH, T. (2005): "Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring", *Environ. Geol.*, 47, pp 715-724.
- DE LUÍS, M.; RAVENTÓS, J.C.; GONZÁLEZ-HIDALGO, C.; SÁNCHEZ, J.R. y CORTINA, J. (2000): "Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain)", *International Journal of Climatology*, 20, pp 1451-1469.

- ESTEBAN-PARRA, M.J.; RODRIGO, F.S. y CASTRO-DIEZ, Y. (1998): "Spatial and Temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992", *International Journal of Climatology*, 18, 1557-1574.
- GREEMBAUM, N.; MARGALIT, A.; SCHICK, A.P.; SAHRON, D. y BAKER, V.R. (1998): "A high magnitude storm and flood in a hyperarid catchment, Nahal Zin, Negev Desert, Israel", *Hydrological Processes*, vol 12, pp 1-23.
- HOMAR, V.; ROMERO, R.; RAMIS, C. Y ALONSO, S. (2002): "Numerical study of the October 2000 torrential precipitation event over eastern Spain: analysis of the synoptic-scale stationarity. *Annales Geophysicae*, vol. 20, pp. 2047-2066.
- LANA, X.; FERNANDEZ, G. y BURGUEÑO, A. (1995): "Daily precipitation maxima in Catalonia (North-east Spain): Expected values and their spatial distribution", *International Journal of Climatology*, vol. 15, 341-354.
- LANA, X.; MARTÍNEZ, M.D.; SERRA, C. y BURGUEÑO, A. (2004): "Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime in Catalonia (Northeastern Spain), 1950-2000", *International Journal of Climatology*, 24, pp 613-641.
- LLASAT, M.C. (2001): "An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain", *International Journal of Climatology*, 21, pp 1385-1400.
- MARTÍN-VIDE, J. (2004): "Spatial distribution of daily precipitation concentration index in peninsular Spain", *International Journal of Climatology*, 24, pp 959-971.
- MILLÁN, M.; ESTRELA, M.J. y CASELLES, V. (1995): "Torrential precipitations on the Spanish east coast: the role of the Mediterranean sea surface temperature", *Atmospheric Research*, 36, pp 1-16.
- MORELL, J. y PÉREZ-CUEVA, A. (2000): "Volúmenes hídricos de las precipitaciones intensas en la Confederación Hidrográfica del Júcar", *Cuadernos de Geografía*, 67/68, pp 261-275.
- PEÑARROCHA, D.; ESTRELA, M.J. y MILLÁN, M. (2002): "Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: the Valencia region", *International Journal of Climatology*, 22, pp. 677- 695.
- ROMERO, R.; RAMIS, C. y GUIJARRO, J.A. (1999): "Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification", *International Journal of Climatology*, 19, pp 95-112.
- ROMERO, R.; SUMNER, G.; RAMIS, C. y GENOVÉS, A. (1999): "A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area", *International Journal of Climatology*, 19, pp. 765-785.
- SAARONI, H. y BARUCH, Z. (2000): "Summer rain episodes in Mediterranean climate, the case of Israel: climatological-dynamical analysis", *International Journal of Climatology*, 20, pp 191-209.
- SEGURA, F. (1990): *Las ramblas valencianas*, Universitat de València, 229 pp.