

Análisis de frecuencia y clasificación de eventos hidrometeorológicos reales en tres cuencas del NE de España

Frequency analysis and classification of real hydrometeorological episodes in three basins of NE Spain

Jesús Mateo Lázaro, José Ángel Sánchez Navarro, Alejandro García Gil y Vanesa Edo Romero

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza, España.
jesusmateo@eid.es, joseange@unizar.es, garciagilalejandro@gmail.com, vanesa@eid.es

ABSTRACT

A rainfall and flow frequency analysis has been performed in three basins in the northeast of Spain, those are the Bergantes, Esca and Sotón. Various methods grouped into two categories are used, (1) the gauged method which consist in the analysis of maximum flow rate annual series, and (2) the hydrometeorological method which take into account processes with rainfall-runoff transformation models. The results are compared with observed data in historical series. Finally, nine episodes with actual rainfall and flow record are analyzed. This episodes are also classified in their frequency domain and results obtained from models used have been contrasted.

Key-words: Hydrology, Statistics, Frequency analysis, Flash flood, Natural Hazards.

Geogaceta, 53 (2013), 117-120.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

Se realiza un análisis de frecuencia de precipitación y caudal en tres cuencas del NE de España, Bergantes, Esca y Sotón, que se localizan en la figura 1, y en la tabla I se dan sus características obtenidas con MDT. Los resultados obtenidos se comparan con los datos de las series históricas. Finalmente se analizan 9 episodios reales que serán clasificados por periodos de retorno (T). Se han elegido estos episodios y no otros más severos ocurridos a lo largo del siglo XX, porque es a partir 1998 cuando entra en funcionamiento la red SAIH que proporciona registros de lluvia y de caudal a intervalos de tiempo cortos, de 15 minutos.

El análisis de frecuencia se realiza para precipitaciones y para caudales. Para precipitaciones simplemente se toman los datos de la cobertura de lluvias y periodos de re-

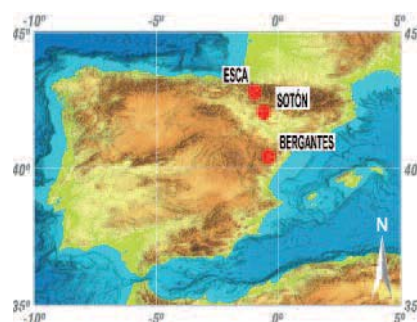


Fig. 1.- Situación de cuencas en SRTM30.

Fig. 1.- Watersheds location in SRTM30.

torno de la publicación del Ministerio de Fomento (1999).

Para caudales, se realiza un contraste con varios métodos agrupados en dos categorías:

1) Foronómicos donde se utilizan dos métodos: uno es el Mapa de caudales má-

RESUMEN

Se realiza un análisis de frecuencia de precipitaciones y de caudales en tres cuencas del NE de España, Bergantes, Esca y Sotón. Se utilizan varios métodos agrupados en dos categorías, (1) foronómicos que consiste en el análisis de series anuales de máximo caudal instantáneo e (2) hidrometeorológicos donde se modeliza el proceso de transformación lluvia-escorrentía. Los resultados se comparan con los propios datos de las series históricas. Finalmente se analizan nueve episodios con registro real de lluvia y de caudal, se clasifican en el dominio de la frecuencia y se realiza un contraste de los resultados obtenidos con los diferentes modelos.

Palabras clave: Hidrología, Estadística, Análisis de frecuencia, Crecidas, Riesgos naturales.

Fecha de recepción: 14 de julio de 2012
Fecha de revisión: 25 de octubre de 2012
Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2012

ximos (CAUMAX) elaborado por el CEDEX (2011) con métodos estadísticos que parten de las series históricas existentes en la red de estaciones de aforo. El segundo consiste en el análisis de frecuencia de series anuales de caudal máximo.

Stream	AREA km ²	LCP km	S1 %	S2 %	Tc h	CN (II)
Bergantes	1.052	84	1,5	18,4	9,96	70
Esca	506	52	3,5	29,2	5,03	61
Sotón	197	29	3,6	11,3	3,12	77

Area Área de Cuenca.
LCP Longitud del cauce principal.
S1 Pendiente del cauce principal.
S2 Pendiente media de la cuenca.
Tc Tiempo de concentración (Kirpich).
CN Número de curva del SCS.

Tabla I.- Características de las cuencas.

Table I.- Catchment features.

2) Hidrometeorológicos, donde se parte de la máxima lluvia diaria de cada periodo de retorno y se generan caudales con distintos modelos.

Materiales y métodos

Análisis de frecuencia de lluvias

Se parte de los datos de precipitación máxima diaria (PD) por periodos de retorno (Ministerio de Fomento, 1999) dados en la tabla II, que ha sido obtenida como la media de los valores en cada punto de la cuenca.

T→	5	10	25	50	100	500
Bergantes	98	119	148	170	194	256
Esca	84	98	118	133	149	189
Sotón	75	89	108	123	139	179

Tabla II.- Precipitación máxima diaria (mm) por periodos de retorno.

Table II.- Top daily rainfall for return period.

Caudales. Método foronómico

Respecto al modelo del CEDEX, se han seleccionado del mapa los datos correspondientes a las cuencas.

Por otra parte, con la serie histórica de caudal máximo de cada cuenca, se realiza un análisis de frecuencia con funciones de distribución estadística. En Chow *et al.* (1988) se presenta una síntesis metodológica y se desarrolla el método del factor de frecuencia como adecuado para los análisis hidrológicos. Para aplicarlo se utiliza el programa de Estadística Hidrológica de Valores Extremos (EHVE), del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (Mateo-Lázaro, 2011). El ajuste se realiza con siete funciones de distribución: distribución de Gumbel; distribución normal; distribución log-normal; distribución tipo I (Chow, 1953); distribución de Pearson tipo III; distribución de log-Pearson III; distribución del Water Resources Council (WRC).

Con objeto de seleccionar la función de distribución con mejor ajuste, con las funciones obtenidas se realiza un análisis de confiabilidad mediante los siguientes test estadísticos: 1. Método del error cuadrático mínimo (ECM); 2. Test de la χ^2 ; 3. Test de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

El análisis se ha aplicado a los datos de las series históricas, obtenidos en el anuario de aforos (Ministerio de Medio Am-

biente, 2010) que son: a) Bergantes: 1953-2006 con 27 datos; 2) Esca: 1930-2007 con 57 datos; 3) Sotón: 1993-2009 con 15 datos.

Método hidrometeorológico

Con el método hidrometeorológico se han utilizado tres modelos: 1) Racional modificado (Ferrer-Polo, 1993); 2) Método del hidrograma unitario del SCS; 3) Método de circulación de flujo a través del MDT.

Los dos últimos modelos requieren la definición de un episodio estándar por cuenca que tiene estas características. En Mateo-Lázaro (2011) se realiza un análisis de variabilidad introduciendo cambios en los distintos parámetros: a) Patrón de lluvia; duración (la precipitación diaria ocurre en unas 14 horas; forma (elíptico con relación de ejes 2/1 a/b); situación (núcleo de la tormenta en el centro de la cuenca y eje mayor paralelo al eje de la misma); coeficiente de avance (1/3); b) Estado de humedad antecedente estándar (AMC tipo II).

Para aplicar esta metodología se hace uso de diversas fuentes de datos disponibles en la actualidad, entre las que cabe destacar:

a) Los MDT. En España, en el Instituto Geográfico Nacional se dispone de MDTs en formato GRID con diferentes resoluciones, con pasos de malla desde 200 m hasta 5 m. Aquí se utiliza uno de 20 m.

b) En relación con lluvias se utiliza la Cobertura de Máximas Lluvias diarias del Ministerio de Fomento (Ministerio de Fomento, 1999).

c) En el modelo de transformación lluvia-escorrentía se dispone de la cobertura de número de curva (CN), creada con criterios homogéneos para España, y proviene de una Tesis reciente (Ferrer-Juliá, 2003).

Resultados

Análisis de frecuencia en cuencas

A modo de ejemplo, en la tabla III se muestran los resultados del análisis de frecuencia para la serie del río Esca junto con el análisis de confiabilidad, siendo la función LOG-Pearson III la que mejores resultados produce en los tres test. En la tabla IV (FD), se acompañan los resultados de las 3 cuencas obtenidos con la función que mejor ajusta.

En la tabla IV se dan los resultados de caudales máximos obtenidos con los diferentes modelos: con el modelo del CEDEX tienden a ser los más bajos; en las funciones de distribución, las que mejor ajustan han sido Pearson III en Bergantes, Log-Pearson III en Esca (Tabla III) y Gumbel en Sotón, por lo tanto no hay una que destaque con claridad; y los tres modelos hidrometeorológicos con los que se obtienen, en general, mayores valores.

En la tabla V se destacan los 4 eventos de caudal más severos registrados en la serie histórica (anuario de aforos) con su periodo de retorno que le corresponde a cada modelo. En la figura 2 se representan las gráficas de frecuencia obtenidas para cada cuenca con los diferentes modelos (datos de la tabla IV), y en ellas se sitúan los principales eventos históricos (datos de la tabla V) mediante puntos.

Discusión

Análisis de frecuencia en cuencas

En el río Bergantes, son los modelos hidrometeorológicos los que arrojan valores más elevados, en el evento de 500 años, los 3 modelos superan 3.500 m³/s. Por el con-

T años →	ANÁLISIS DE FRECUENCIA (CAUDAL PUNTA EN m ³ /s)						ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD		
	5	10	25	50	100	500	ECM	χ^2	K-S
Gumbel	297	357	433	489	545	674	154	0,89	0,08
Normal	300	342	386	414	440	492	270	no	0,14
Log-Normal	283	334	400	449	498	614	173	no	0,06
Chow	289	344	413	465	516	634	158	0,9	0,07
Pearson III	283	345	424	484	543	682	132	0,78	0,06
Log-Pearson III	280	339	420	486	557	744	127	0,75	0,04
WRC	281	338	413	473	536	696	141	0,87	0,04

Tabla III.- Resultados del análisis de frecuencia y de los test de confiabilidad con los datos de la serie histórica de máximo caudal instantáneo del río Esca.

Table III.- Results of frequency analysis and reliability tests with data from the time series of maximum flow rate of the Esca river.

A) BERGANTES

	5	10	25	50	100	500
CM	153	237	392	565	785	1.671
FD	416	678	1.049	1.346	1.656	2.416
RAC	661	967	1.429	1.825	2.271	3.494
SCS	680	998	1.465	1.875	2.310	3.552
CF	860	1.158	1.572	1.930	2.379	3.694

B) ESCA

	5	10	25	50	100	500
CM	279	335	401	452	499	628
FD	280	339	420	486	557	744
RAC	183	271	409	530	670	1.046
SCS	170	255	399	525	690	1.093
CF	247	344	498	633	749	1.152

C) SOTÓN

	5	10	25	50	100	500
CM	117	157	234	305	378	587
FD	161	200	249	285	321	404
RAC	212	293	412	514	627	924
SCS	117	173	238	299	378	556
CF	142	204	289	362	443	631

CM: CAUMAX del CEDEX FD: Función de distribución RAC: Método racional SCS: Método del hidrograma unitario del SCS CF: Método de circulación de flujo

Tabla IV.- Caudal punta obtenido con distintos modelos y periodos de retorno.

Table IV.- Peak flow obtained with different models and return periods.

A) BERGANTES

AÑO	Q (m³/s)	PERIODO DE RETORNO (años)				
		CM	FD	RAC	SCS	CF
1967-68	1560	435	81	32	30	25
2000-01	1030	180	24	10	8	6
1962-63	910	138	18	7	6	5
1961-62	535	46	7	4	5	4

B) ESCA

AÑO	Q (m³/s)	PERIODO DE RETORNO (años)				
		CM	FD	RAC	SCS	CF
1937-38	550	204	97	54	54	32
1962-63	538	173	83	51	51	30
1955-56	420	32	25	27	28	16
1984-85	401	25	20	24	25	14

C) SOTÓN

AÑO	Q (m³/s)	PERIODO DE RETORNO (años)				
		CM	FD	RAC	SCS	CF
1999-00	188	15,0	8,0	4,3	12,7	8,3
2003-04	184	14,3	7,5	4,2	12,0	7,9
1995-96	174	12,7	6,3	3,9	10,5	7,1
1994-95	163	10,9	5,2	3,6	9,0	6,3

Tabla V.- Análisis de frecuencia de los 4 eventos más importantes de la serie histórica para cada modelo y cuenca.

Table V.- Frequency Analysis of the four main events of the time series for each model and basin.

trario, el modelo del CEDEX da valores muy bajos y la función de distribución intermedios.

Los resultados del CEDEX parecen indicar una significativa estimación a la baja para el caso de la cuenca del Río Bergantes, teniendo en cuenta que en una serie de 27 años, se estima un evento de 400 años, 3 de más de 100 y 4 que superan 50 años.

Los resultados con la función de distribución parecen ajustarse mejor a los registros reales, así, el evento máximo apenas supera 80 años de periodo de retorno, y los otros tres no alcanzan 25 años. A partir de 100 años no se registra ningún evento, por lo que los límites de confianza de la función para periodos de retorno largos, tiene gran incertidumbre. Así, para el periodo de retorno de 500 años y con un

nivel de confianza del 90%, con un valor nominal de 2.416 se obtiene un rango de incertidumbre entre 2.000 y 3.100 m³/s (Tabla IV A).

Con los modelos hidrometeorológicos se obtienen resultados similares para los tres, el evento máximo se sitúa entre 25 y 32 años, y los otros 3 eventos ninguno supera 10 años, lo cual concuerda mejor con la longitud de la serie (27 años).

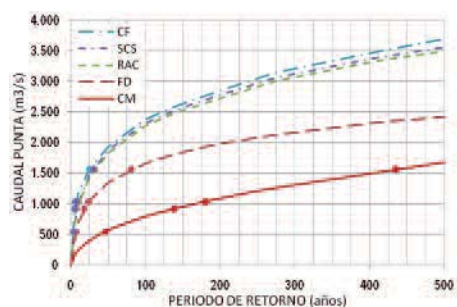
En el río Esca, con una longitud de serie histórica de 57 años, sigue llamando la atención que con el modelo CEDEX se obtengan 2 eventos con periodo de retorno cercano de 200 años. Con la función de distribución, se llega a 100 años, y los 3 modelos hidrometeorológicos, no superan 50 años en ningún caso, lo que encaja bien con la longitud de la serie.

En el río Sotón, la serie histórica es excesivamente corta, 15 años, por lo que la validez de la función de distribución estadística es dudosa y explica los bajos valores que resultan para periodos de retorno largos. Con todos los modelos, los eventos históricos máximos resultan ser de periodo de retorno muy corto.

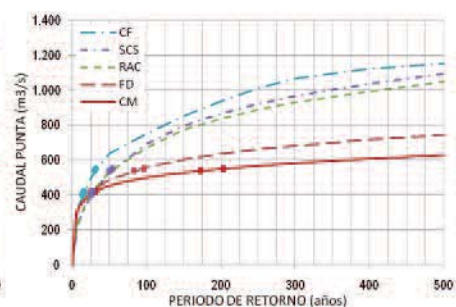
Clasificación de episodios que tienen registros de lluvia y caudal

A continuación se estudian 9 episodios reales con registros pluviométricos en puntos situados dentro o cerca de las cuencas, y de caudal en la estación de aforo de cada cuenca. En la tabla VI se resumen los datos observados, lluvia en un día y caudal punta. Comparando estos datos con los re-

A) BERGANTES



B) ESCA



C) SOTÓN

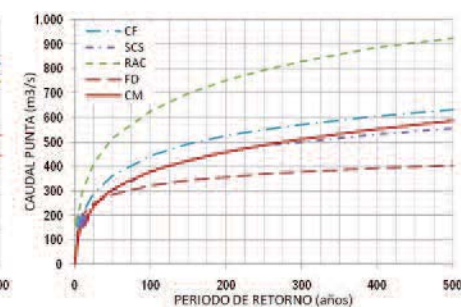


Fig. 2.- Gráficas de frecuencia y eventos de la serie histórica para cada modelo y cuenca.

Fig. 2.- Frequency graphics and events of the time series for each model and basin.

RÍO	EPISODIO	OBSERVACIONES		PERIODO DE RETORNO (años)					
		PD (mm)	QP (m³/s)	PD	CM	FD	RAC	SCS	CF
BERGANTES	oct. 2000	238	1030	2250	180,12	21,50	13,25	12,30	5,91
	may. 2002	41	227	1,05	9,06	2,69	1,45	1,50	1,46
	abr. 2002	46	89	1,30	2,02	1,15	0,59	0,62	0,70
ESCA	may. 2003	49	237	1,48	9,79	2,79	1,51	1,56	1,51
	ene. 2009	39	201	0,82	3,60	3,59	5,85	6,58	3,44
SOTÓN	feb. 2009	63	178	3,40	3,19	3,18	4,82	5,39	2,84
	nov. 2003	24	129	0,47	6,36	2,93	2,85	5,62	4,44
	sep. 2004	74	185	9,10	14,17	7,63	4,19	12,22	8,02
	may. 2008	22	59	0,42	1,60	1,25	1,56	2,40	2,22

Tabla VI.- Periodos de retorno de los episodios para la precipitación diaria (PD) y para el caudal punta (QP) obtenidos con los diferentes modelos.

Table VI.- Return periods of the episodes to daily precipitation (DP) and peak flow (QP) obtained with different models.

sultados del estudio anterior (Tabla IV y Fig. 2), se clasifican los eventos por el periodo de retorno que les corresponde (Tabla VI).

En el río Bergantes, el episodio de octubre de 2000 es muy llamativo el contraste entre el periodo de retorno obtenido para la lluvia (2.250 años) y el del caudal, no superior a 25 años en la mayoría de los modelos. La cobertura española de lluvias máximas es una útil y valiosa herramienta, pero el evento aconseja seguir investigando en este campo, especialmente sobre la posibilidad de extender la zona de altas precipitaciones del levante español a áreas colindantes. En los otros tres episodios, los resultados son parecidos entre sí, a excepción de los obtenidos con el modelo del CEDEX donde sigue llamando la atención que en 4 años (2000-2003) aparecen 2 casos con periodo de retorno ≈10 años.

Los episodios del río Esca son un caso especial donde procesos de deshielo intervienen decisivamente (Mateo-Lázaro et. al, 2012). Es por ello que el aporte por deshielo, en especial con el episodio de enero, induzca en todos los modelos, que el periodo de retorno de caudal destaque sobre el de lluvia.

En el Sotón, se obtienen apreciables diferencias entre los periodos de retorno de caudal y precipitación diaria. Esta situación

se atribuye a la corta duración de la lluvia (unas horas).

Conclusiones

Se destaca que los métodos basados únicamente en datos de caudal (foronómicos) dan siempre resultados más bajos, que a veces pueden ser muy significativos. Esto se debe a que es en eventos excepcionales cuando hay tendencia a la pérdida de registros, con más frecuencia en caudal que en lluvia. Por otra parte, son más numerosos los pluviómetros que las estaciones de aforo, lo que hace que la pérdida total del registro de lluvia sea más difícil.

La falta de correlación en el periodo de retorno entre lluvia y caudal es un hecho frecuente, y puede deberse a varios factores:

- a) Por entradas al sistema distintas a la propia lluvia, por ejemplo el deshielo.
- b) Por la disposición y evolución de la tormenta. La distribución de la lluvia en el espacio y en el tiempo influyen en el modo en que se acumula la escorrentía (Mateo-Lázaro y Sánchez-Navarro, 2011).
- c) Porque la capacidad de absorción del terreno cambia con el tiempo. Una misma lluvia en diferentes condiciones hidrológicas del terreno dará como resultado caudales y volúmenes distintos.

La elevada divergencia de resultados entre métodos aconseja realizar, en los estudios hidrológicos, un contraste con las metodologías disponibles.

Agradecimientos

Se expresa gratitud a los revisores del presente artículo por el interés mostrado al aceptar la labor y por el tiempo dedicado.

Referencias

CEDEX (2011). *Mapa de caudales máximos Memoria Técnica*. CEDEX, Madrid, 73 p.

Chow, V.T. (1953). *Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities*, Bulletin Series No. 414, University of Illinois Engineering Experiment Station, Urbana, Illinois, 80 p.

Chow, V.T., Maidment D.R. y Mays L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 540 p.

Ferrer-Julíá, M. (2003). *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección*. CEDEX (España), Monografía C48. 346 p.

Ferrer-Polo, J. (1993). *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX. Publicaciones del Mº de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, M-37, 77 p.

Mateo-Lázaro, J. (2011). *Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas. Aplicación con modelos digitales del terreno*, Ed. Biblioteca Universitaria, Universidad de Zaragoza (España), 390 p.

Mateo Lázaro, J. y Sánchez Navarro, J.A. (2011). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 24, 187-195.

Mateo-Lázaro, J., Sánchez-Navarro, J.A. y García-Gil, A. (2012). En: *VIII Congreso Geológico de España*, Comunicaciones, GeoTemas 13 (SC 299 y SC 300).

Ministerio de Fomento (1999). *Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular*. 29 p., 25 mapas y CD.

Ministerio de Medio Ambiente (2010). *Anuario de aforos 2007-08*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica y Ministerio de Fomento, Sección de Edición, 1005 p.