

# UN ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN (1951-2000) DE LOS EPISODIOS HÚMEDOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL EBRO USANDO UN ÍNDICE SUPERFICIAL

J. ABAURREA\*; J. ASÍN\*; A. CHAZARRA\*\* y J.A. LÓPEZ\*\*  
\* *Departamento de Métodos Estadísticos, Universidad de Zaragoza*  
\*\* *Instituto Nacional de Meteorología, Madrid*

## RESUMEN

Para analizar la evolución en la cuenca del Ebro de los episodios de precipitación intensa se utiliza un índice que mide, en cada periodo, la fracción de superficie afectada por ese hecho extremo (FSE: fracción de superficie extrema). En este trabajo, el índice FSE se aplica a la precipitación mensual registrada en el periodo 1951-2000 y se construye a partir de las series registradas en 28 observatorios; el hecho extremo estudiado es la superación del correspondiente percentil 90. Se introduce y analiza una medida de intensidad asociada al estado en que se encuentra la región cuando experimenta ese episodio húmedo extraordinario. El análisis se realiza considerando la serie cronológica del índice y su intensidad, y desglosando la serie por meses.

**Palabras clave:** Lluvias extremas, cuenca del Ebro, índice FSE (fracción de superficie extrema), análisis de tendencia.

## ABSTRACT

*The aim of this work is to analyse extreme precipitation event evolution in the Ebro river basin using a spatial index, FSE, which monthly measures the proportion of the territory under an extremely wet situation. The FSE index is applied to the (1951-2000) monthly rainfall series recorded in 28 weather stations, uniformly distributed over the basin. The event considered is that monthly rainfall overcomes the long-term 90<sup>th</sup> percentile. A measure of the intensity of each extreme event is introduced and analysed. In order to study the seasonal behaviour, we consider the 12 partial series obtained by splitting the monthly data.*

**Key words:** Extreme rainfall events, Ebro river basin, FSE index, trend analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

El análisis espacio-temporal de variables y propiedades climáticas requiere aproximaciones metodológicas adecuadas. Una vía consiste en regionalizar el territorio atendiendo a que la magnitud evolucione de modo homogéneo en cada región, es decir, en analizar la distribución regional de los distintos patrones de evolución temporal (ABAURREA *et al.*, 2001; BRUNET *et al.*, 2001; ABAURREA *et al.*, 2002). Alternativamente, se puede analizar la evolución temporal de una variable que refleje, en cada momento, la distribución espacial del fenómeno sobre la región en estudio.

Con el fin de analizar una posible tendencia en los episodios extremos de precipitación en USA, KARL y KNIGHT (1998) utilizaron la fracción de observatorios con una lluvia acumulada anual superior al decil extremo, como una aproximación de la proporción de territorio afectada por el

episodio húmedo. LÓPEZ (2004) analizó los valores extremos, caracterizados por el percentil 90, que podía alcanzar la fracción de superficie extrema (FSE) en series, diferentes según los meses del año, de 40 años de longitud. Como fenómenos de interés se fijó en la observación de valores más extremos que los percentiles 10 y 90 en las medias mensuales de las temperaturas máxima y mínima diarias y en la precipitación acumulada; el estudio utilizó observatorios de la Península y Baleares.

En este trabajo el FSE se utiliza para analizar la evolución de los episodios extremos de precipitación. En la sección 2 se define el índice y una medida de intensidad asociada; en la sección 3 se describe la información y el tratamiento aplicado a los observatorios de la cuenca utilizados. En las secciones 4 y 5 se analizan, respectivamente, la evolución del índice y de la medida de intensidad. Finalmente en la sección 6 se establecen las conclusiones y la perspectiva de trabajo futuro.

## 2. DEFINICIÓN DEL FSE Y DEL CONCEPTO DE INTENSIDAD

El índice FSE se define, para cada mes  $t$ , como la fracción de área de la cuenca sometida al hecho extremo. Este área, difícil de determinar con precisión, se estima mediante la proporción de observatorios analizados, distribuidos de manera aproximadamente uniforme en la cuenca, que se encuentran en situación extrema en el mes  $t$ . De este modo se obtiene una serie  $FSE(t)$  mensual.

En este trabajo se ha utilizado como suceso extremo que la precipitación mensual supere el percentil 90 de los valores observados durante un periodo de referencia, el intervalo 1951-2000.

La información dada por el índice FSE se ha completado con una medida asociada de intensidad, ya que dos periodos con un valor del índice similar pueden experimentar situaciones muy distintas en cuanto al carácter del episodio. Para ello se construye en cada observatorio la serie mensual de anomalías (relativas) respecto al percentil 90,

$$anomalía = \frac{observación - p90}{p90}$$

donde  $p90$  representa la cantidad de lluvia correspondiente a ese percentil en ese observatorio y mes del año. La intensidad en cada mes  $t$  se define como la media de los valores positivos de esta anomalía, esto es, la media de las anomalías en los observatorios en los que se observa el hecho extremo; si en un mes el índice FSE es nulo, la intensidad no se define.

## 3. DATOS UTILIZADOS

Se han seleccionado observatorios de la cuenca del Ebro con una distribución aproximadamente uniforme. Se ha impuesto como requisito la existencia de datos durante la mayor parte del periodo 1951-2000; en una primera aproximación se consideraron las series con, a lo sumo, 18 datos mensuales perdidos. Los datos ausentes se estimaron utilizando los registros de los observatorios bien correlados situados en un radio de 30 km. En la selección de estaciones meteorológicas se tuvo en cuenta, además, que las series no hubieran mostrado alarmas significativas en los análisis

de homogeneidad relativa realizados aplicando a las series de lluvia anual el test SNHT para la detección de saltos (ALEXANDERSSON y MÖBERG, 1997). Finalmente, se ha tenido en cuenta la calidad de las series según los controles de tipo absoluto a escala diaria (ABAURREA *et al.*, 2004, en este mismo volumen).

Siguiendo estos principios de continuidad y calidad, se seleccionaron 39 observatorios. Para evitar que alguna de las zonas estuviera representada en exceso, se desestimaron algunas series de modo que, finalmente, se utilizaron sólo 28. Su distribución puede verse en la figura 1.

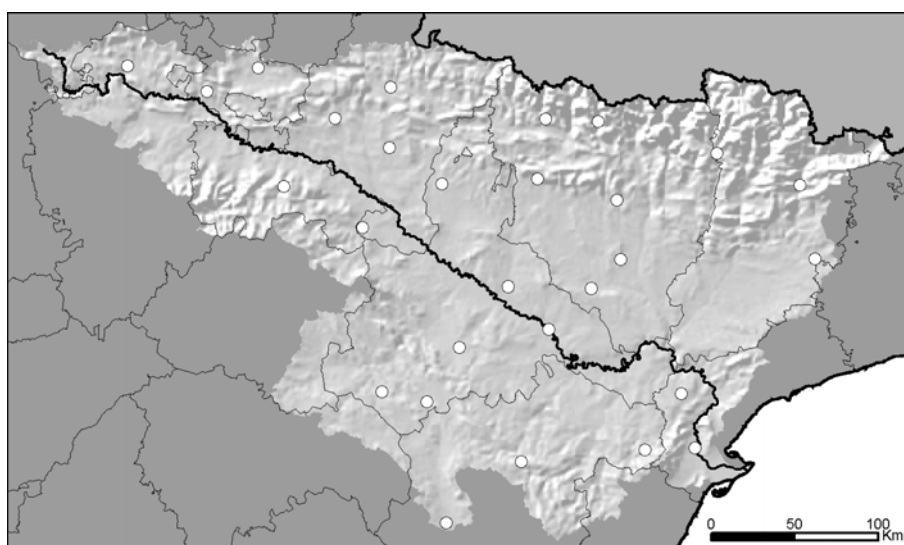


Fig. 1. Situación geográfica de los 28 observatorios en la cuenca del Ebro

Dos series, Longares y Ayegui-Arróniz, se han construido enlazando los registros de dos observatorios distintos; en ocho series el registro no comienza en enero de 1951 y, por último, algunas series, correspondientes a la provincia de Lérida, finalizan su registro a lo largo de la década de los noventa sin que haya sido posible obtener una prolongación hasta diciembre de 2000.

#### 4. ANÁLISIS DEL ÍNDICE FSE

Se ha analizado la evolución de la serie FSE y la de las 12 subseries correspondientes a los distintos meses; se ha estudiado la existencia de una tendencia significativa en la serie y en las subseries del índice, así como en las 28 series binarias, indicadoras del fenómeno extremo, correspondientes a los distintos observatorios.

##### 4. 1. Evolución temporal del índice FSE

La fracción de superficie sometida a condiciones muy húmedas se mueve en un rango de valores entre 0 y 0,84, sin que haya evidencia de dependencia temporal, la serie no presenta una estructura de autocorrelación definida, ni de estacionalidad (dependencia cada 12 meses) (Fig. 2).

Entre los 600 datos de la serie, 50 años, existen 266 meses en los que el índice FSE es nulo, es decir, en los que no existe en la cuenca ninguna zona en situación de humedad extrema. Si calculamos el número esperado de meses con FSE nulo en una serie de 600 observaciones, suponiendo que el valor registrado en cada observatorio es probabilísticamente independiente de los demás, obtenemos:

$$600 \cdot \text{prob}[FSE = 0] = 600 \cdot 0.9^{28} \cong 31.4$$

Con cálculos análogos, basados en la distribución binomial, se obtiene que el valor más alto registrado en la serie FSE, 0,84, es extremadamente improbable bajo la hipótesis de independencia y que un valor de  $FSE \geq 0,5$  tiene un periodo de retorno superior a 9 millones de realizaciones. Se comprueba por tanto que los valores observados reflejan la existencia de una fuerte estructura de dependencia espacial.

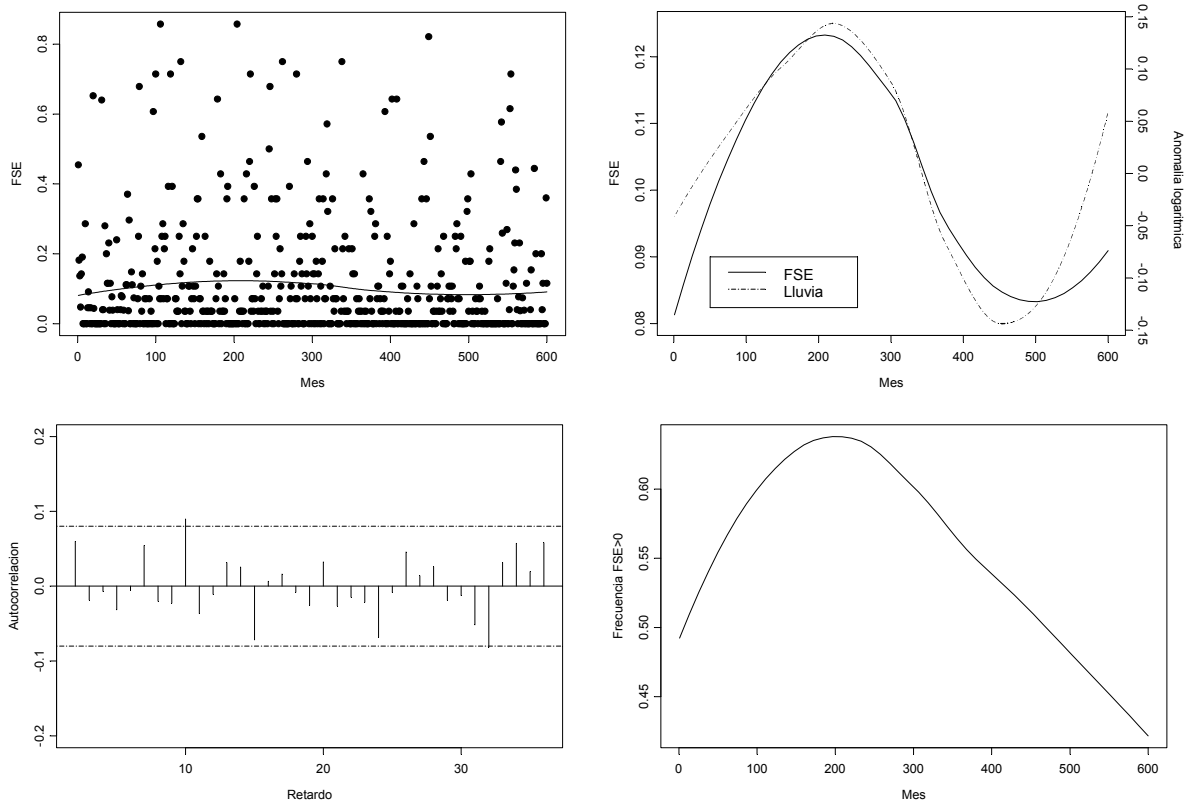


Fig. 2. FSE y valor medio suavizado frente al tiempo, correlograma de la serie FSE y suavizado de la serie indicadora de  $FSE > 0$

La amplitud del rango y la alta frecuencia de ceros hacen que la oscilación del valor suavizado, que se mueve alrededor del nivel 0,10, explique poca variabilidad de la serie. El suavizado loess de amplitud 0,75 identifica la existencia de un periodo húmedo en la década de los sesenta y un descenso posterior que alcanza el mínimo a finales de los ochenta, para acabar con una tendencia ligeramente positiva (Fig. 2). Esta evolución es paralela a la que muestra el mismo suavizado

aplicado a la serie de valores medios de las anomalías logarítmicas de las cantidades mensuales de lluvia en los 28 observatorios.

La serie indicadora de que el índice FSE toma valores no nulos evoluciona de forma similar al propio FSE, salvo en la última década, donde mantiene la tendencia descendente que se inicia con la década de los setenta (Fig. 2).

El análisis de las series FSE para cada uno de los meses del año evidencia que su evolución es muy distinta (Fig. 3). El punto de inflexión que se observa alrededor de 1975 en el suavizado del FSE marca también un punto de cambio en bastantes suavizados de las series mensuales y coincide con el cambio de fase, negativa a positiva, en el índice NAO. En los meses de tránsito hacia la primavera y en los de otoño se identifica una evolución similar a la que muestra el suavizado de FSE hasta 1975 (Tabla 1), mientras que, a partir de 1975, la evolución se acopla a la general de FSE en los meses de invierno y verano.

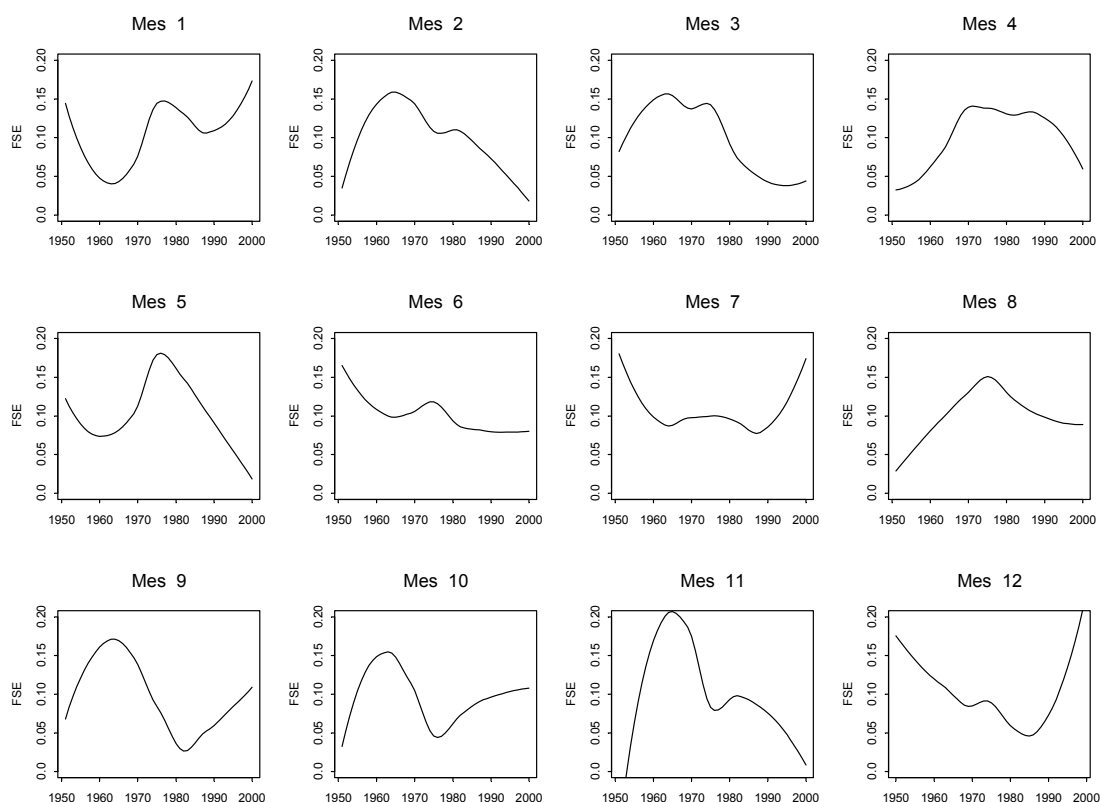


Fig. 3. Suavizados loess de las series FSE por meses

La desviación típica puede ser una medida poco adecuada para describir la variabilidad de las series FSE debido a la gran asimetría de sus distribuciones, por ello se ha calculado para cada mes el índice de Gini; una medida que se obtiene al dividir el valor medio de la diferencia absoluta de las parejas de valores de una serie entre el doble de la media de la misma.

Tabla 1. Tabla resumen de la similitud-discrepancia entre la evolución de FSE en cada mes y su evolución global

	<b>Similar a FSE anual</b>	<b>Contrario a FSE anual</b>
<b>Hasta 1975</b>	meses 2, 3, 9, 10, 11	1, 4, 5, 6, 7, 12
<b>Después 1975</b>	1, 3, 6, 7, 8, 9, 12	4, 10, 11

En la tabla 2 se aprecia que los meses invernales (nov-ene) presentan mayor dispersión y los de verano los valores mínimos; el mes de febrero se sale de la tónica general y marca el mínimo absoluto; sin embargo, el test de Levene para contrastar la igualdad de varianzas en las 12 series mensuales del índice, que no requiere la hipótesis de simetría, no resulta significativo.

Tabla 2. Índice de Gini (%) y desviación típica de las series mensuales de FSE

	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>Gini (%)</b>	78	62	69	72	70	73	64	64	74	70	77	75
<b>Desv.tip.</b>	0,179	0,127	0,164	0,174	0,160	0,176	0,148	0,134	0,178	0,168	0,196	0,167

#### 4.2. Análisis de la significación de las tendencias en el índice FSE

El análisis de tendencias en el índice FSE se ha hecho por separado para cada mes, dada la diferente evolución observada, analizando el periodo 1957–1995, en el que los datos están completos en los 28 observatorios. El test no paramétrico de Mann-Kendall se ha aplicado a las series FSE mensuales sin que se haya obtenido ninguna tendencia significativa al 5%; la mayor significación, un p-valor de 0.11, se observa en la serie de febrero, que es decreciente.

Para analizar en detalle la existencia de una posible tendencia en algún área de la cuenca, se ha aplicado, a cada observatorio y mes, el test para la detección de tendencia en series binarias propuesto por LÓPEZ (2003). Los resultados significativos al 5% se recogen en la tabla 3, donde se indica entre paréntesis el signo de la tendencia.

Tabla 3. Resultados significativos al 5% en el test de tendencia aplicado a las series mensuales de cada observatorio

	<b>Nº obs.</b>	<b>p-v %</b>	<b>Nº obs.</b>	<b>p-v %</b>	<b>Nº obs.</b>	<b>p-v %</b>	<b>Nº obs.</b>	<b>p-v %</b>	<b>Nº obs.</b>	<b>p-v %</b>
<b>MAR</b>	58	4,1(-)								
<b>ABR</b>	8	1,1(+)	30	4,1(+)						
<b>JUN</b>	52	2,2(+)								
<b>JUL</b>	22	3,8(-)								
<b>AGO</b>	18	1,7(-)	34	3,6(-)	39	0,5(-)	41	1,4(-)	51	2,1(-)
<b>DIC</b>	12	3,8(-)	26	3,8(-)	42	3,1(-)				

En ellos se observa que los observatorios con una tendencia significativa en el mismo mes guardan relación entre sí: el grupo con tendencia decreciente en agosto lo forman observatorios que rodean

al de Pamplona, los dos con tendencia creciente en abril se encuentran en la cabecera de la cuenca, mientras que los tres con tendencia decreciente en diciembre se sitúan dentro de la zona de influencia mediterránea.

## 5. ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD

Los valores de intensidad asociados a los episodios húmedos extremos y su suavizado loess se representan en la figura 4. Se ha retirado para evitar su influencia un valor aislado superior a 1,5 que corresponde a un mes en el que sólo hay un observatorio en condiciones de humedad extrema. La evolución que se observa es decreciente, con un pequeño máximo que aparece, de nuevo, alrededor de 1975. La variación relativa del valor medio a lo largo del periodo analizado es del orden de un 20%, inferior a la oscilación máxima relativa de FSE (Fig. 2), que es, aproximadamente, de un 40%.

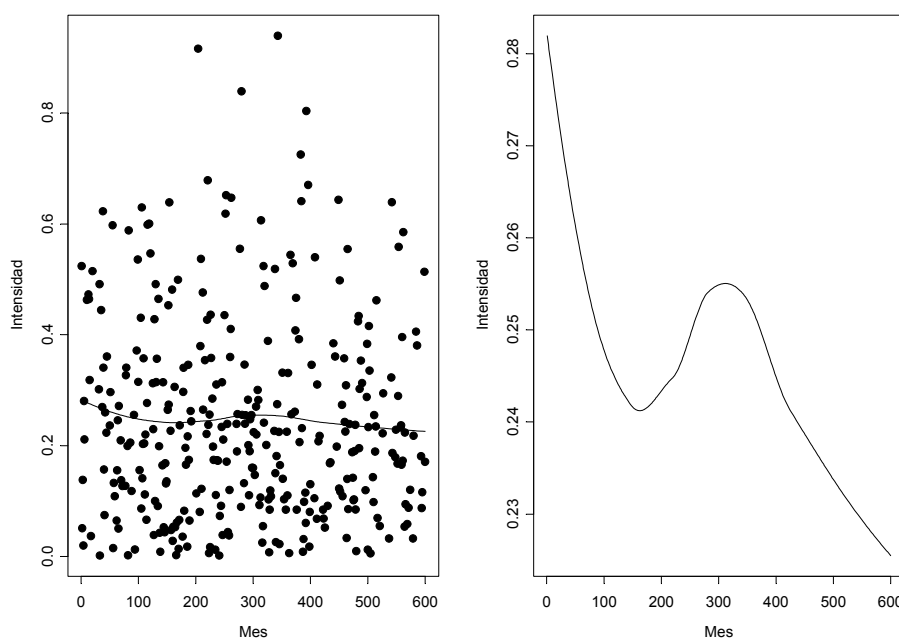


Fig. 4. Intensidades observadas y suavizado frente al tiempo

La mayor parte de la variabilidad observada en la intensidad se explica por el ciclo anual. En la figura 5 se aprecia que la variabilidad a lo largo del año, reflejada en los diagramas de caja por bimestres, es mayor que la que se observa a lo largo del periodo de estudio, resumida en los diagramas de caja de los datos por quinquenios. En los meses primaverales se observan los menores valores medianos de la intensidad.

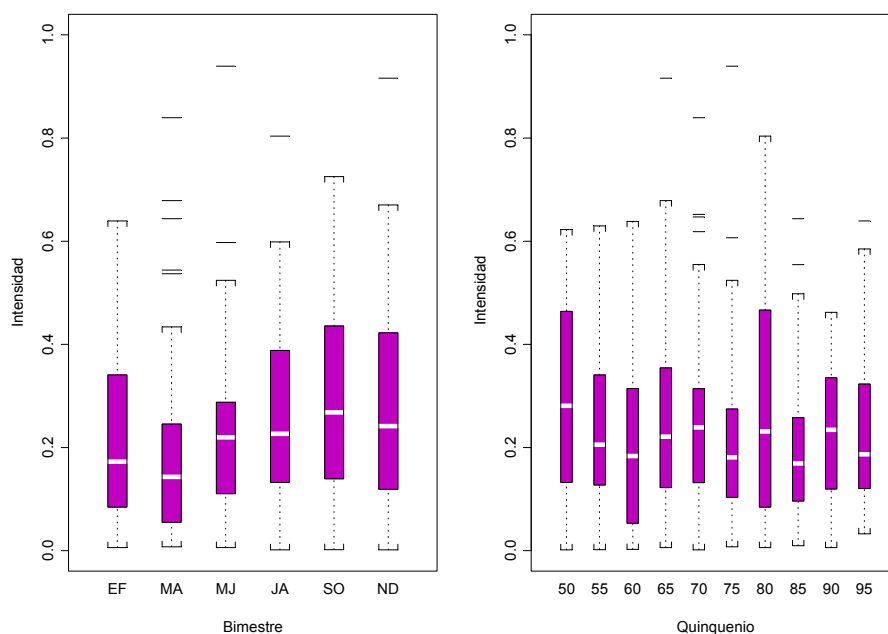


Fig. 5. Diagramas de caja de la intensidad por bimestres y quinquenios

La intensidad tiene una relación lineal con el índice FSE, (Fig. 6), con un coeficiente de correlación igual a 0,51. Si analizamos esa relación diferenciando los episodios según el tamaño de su mancha espacial, vemos que el coeficiente de correlación es 0,22 para la nube correspondiente a valores de FSE menores que 0,2 y 0,55 cuando FSE es mayor o igual que ese umbral.

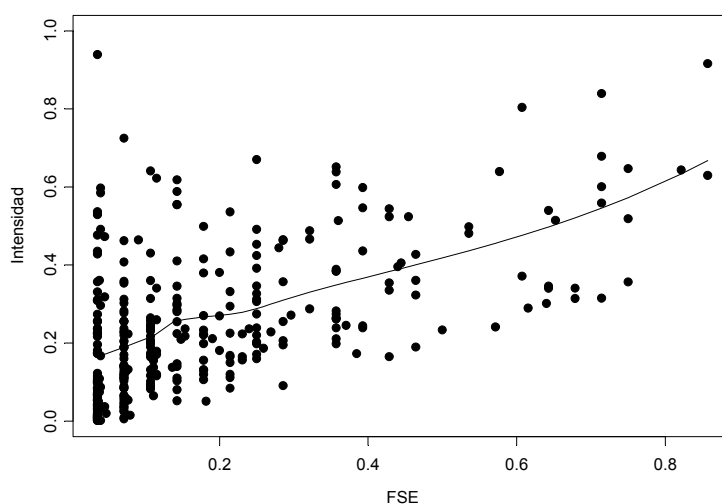


Fig. 6. Intensidad frente a FSE y valor medio suavizado

En la figura 6 vemos que la intensidad se mueve en un rango amplio, bastante uniforme teniendo en cuenta el mayor número de puntos correspondientes a los episodios territorialmente reducidos,



y que guarda con FSE una aceptable relación lineal, en especial cuando la superficie afectada supera el 20% de la cuenca, lo que es plausible dada la estructura tridimensional del sistema nuboso, en el que, a mayor extensión de la sección plana, corresponde, en general, un mayor espesor medio de la columna de agua precipitable.

## **6. CONCLUSIONES**

La evolución temporal de la ocurrencia e intensidad de los episodios de humedad extrema, reflejada por el índice FSE, corresponde básicamente con la evolución y oscilaciones de la señal de la lluvia global recogida en la cuenca. Con respecto a la medida de intensidad definida, vemos que muestra una tendencia decreciente sostenida en el intervalo estudiado, con una interrupción alrededor de 1975. Se ha identificado que esa intensidad muestra una buena relación lineal con los valores de FSE cuando el episodio extremo afecta, al menos, a la quinta parte del territorio. En consecuencia, no hay indicios de que, en la cuenca del Ebro, la precipitación esté experimentando un incremento extraordinario de sus episodios extremos de carácter húmedo.

Desde el punto de vista metodológico, este tipo de análisis tiene la ventaja de que se apoya en medidas agregadas y no sobre el dato diario, más susceptible de presentar errores o sesgos sistemáticos que resultan difíciles de identificar y corregir. Por otra parte, el índice es versátil ya que puede aplicarse a diferentes hechos extremos, en escalas temporales variadas.

El trabajo tiene varias líneas abiertas, la primera, su aplicación al análisis de las situaciones simétricas de carácter seco y otros fenómenos de interés. Por otro lado, el FSE es un índice complejo cuyo proceso espacial, la forma de distribuirse de los observatorios afectados, debe ser investigado y caracterizado mediante medidas adecuadas.

El uso de FSE requiere la disponibilidad de un número relativamente elevado de observatorios con los que realizar la integración espacial. En este sentido se está trabajando para disponer de una base de datos de calidad en la cuenca del Ebro, con mayor densidad de observatorios. Una vez puesta a punto será necesario investigar si el comportamiento de FSE es homogéneo en las distintas zonas caracterizadas por una evolución de la lluvia común.

## **7. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la dirección y al personal del Centro Territorial del Instituto Nacional de Meteorología en Zaragoza la colaboración prestada con los datos. El trabajo ha sido financiado por el proyecto REN2002-00009 concedido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

## **8. REFERENCIAS**

ABAURREA, J. *et al.* (2001). Climate variability analysis of temperature series in the medium Ebro river basin. En: LÓPEZ, D. y BRUNET, M. (Eds.). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, Springer-Verlag, pp. 109-118.

- ABAURREA, J.; ASÍN, J. y CENTELLES, A. (2002). Caracterización espacio-temporal de la evolución de la precipitación anual en la cuenca del Ebro. En: GUIJARRO, J. A.; GRIMALT, M.; LAITA, M. y ALONSO, S. (Eds.). *El agua y el clima*. AEC, Serie A, nº3, pp. 113-124.
- ABAURREA, J. *et al.* (2004). Metodología para el control de homogeneidad de una base de datos de precipitación diaria para investigación. (en este mismo volumen).
- ALEXANDERSSON, H. and MÖBERG, A. (1997). "Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends". *International Journal of Climatology*, 17, pp. 25-34.
- BRUNET, M. *et al.* (2001). The variations and trends of the surface air temperature in the northeastern of Spain from middle nineteenth century onwards. En: LÓPEZ, D. and BRUNET, M. (Eds.). *Detecting and modelling regional climate chang*. Springer-Verlag, pp. 81-93.
- KARL, T.R. *et al.* (1996). "Indices of climate change for the United States". *Bull. Am. Met. Soc.*, 77, pp. 279-292.
- KARL, T.R. y KNIGHT, R.W. (1998). Secular trends of precipitation amount, frequency and intensity in the United States. *Bull. Am. Met. Soc.*, 79, pp. 231-241.
- LÓPEZ, J.A. (2004). Análisis de la extensión superficial de episodios extremos. En: *Actas de las XXVIII Jornadas Científicas de la AME*. Ministerio de Medio Ambiente.
- LÓPEZ, J.A. (2003). "A non-parametric test for trends in the occurrence of rare events". *J. Climate*, 16, pp. 2602-2614.