

04-021

### **TREND ANALYSIS OF SEASONALITY AND RAINFALL EROSIVITY IN THE REGION OF EASTERN ANDALUSIA**

Ayuso Ruiz, Patricia ; García Marín, Amanda Penélope ; Taguas Ruiz, Encarnación ;  
Estévez Gualda, Javier ; Ayuso Muñoz, José Luis

Universidad de Córdoba

Rainfall erosivity is the primary cause of soil erosion establishing an environmental constraint that restricts and conditions land use and soil management. Thus, in the context of the climate change, the understanding of the alteration in rainfall characteristics and their influence on soil erosion is one of the main concerns of soil conservation studies. In this work, the seasonality rainfall index (SI) of Walsh and Lawler, precipitation concentration index (PCI), and modified Fournier index (MFI) for rainfall erosivity have been estimated and analyzed for East Andalusia region. Monthly rainfall data (from 1945 to 2005) of 277 rainfall gauges distributed over the region have been used. The region is characterized by high year-to-year variability in rainfall and a marked irregular distribution of the rainfall over the year and thus monthly rainfall erosivity. The spatial variability of the analyzed indexes is shown in maps. Their temporal data series are also analyzed in order to detect tendencies by using the non-parametric test, based on the range, of Mann-Kendall.

**Keywords:** *Erosivity; seasonality index; precipitacion concentration index; trend analysis*

### **ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE LA ESTACIONALIDAD Y EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN LA REGIÓN DE ANDALUCÍA ORIENTAL**

La erosividad de la lluvia es la causa primaria de la erosión del suelo constituyendo una limitación ambiental natural que restringe y condiciona el uso y manejo del suelo. Por consiguiente, en un contexto de cambio climático, la comprensión de la alteración de las características de la lluvia y su efecto en la erosión del suelo es uno de los principales temas en los estudios de conservación del suelo. En este estudio se han estimado y analizado el índice de estacionalidad de la lluvia de Walsh y Lawler (IE), el índice de concentración de la precipitación (ICP) y el índice modificado de Fournier (IMF) para la erosividad de la lluvia para la región de Andalucía oriental. Los datos utilizados constan de registros de lluvia mensual durante el periodo 1945 a 2005 correspondientes a 277 estaciones pluviométricas distribuidas sobre la región. La región se caracteriza por una alta variabilidad interanual de la precipitación y una marcada estacionalidad y por consiguiente de la erosividad de la lluvia mensual. Se presentan mapas de la variabilidad espacial de estos índices y se analizan las series temporales de los mismos para detectar tendencias utilizando el test no paramétrico, basado en el rango, de Mann-Kendall.

**Palabras clave:** *Estacionalidad; concentración de la precipitación; erosividad; análisis de tendencias*

Correspondencia: José Luis Ayuso ir1aymuj@uco.es

Agradecimientos: Este trabajo se enmarca en el proyecto CTM2013-45666 Reformulación de los procesos de erosión y transporte de sedimentos desde una perspectiva física, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad

## 1. Introducción

La precipitación es el componente más importante del ciclo hidrológico y el elemento climático más complejo y variable, tanto por su ocurrencia estacional a lo largo del año (variabilidad intra-anual) como por su variabilidad interanual. En la región de Andalucía oriental, además del fuerte carácter estacional la precipitación presenta una gran variabilidad interanual y una elevada variabilidad espacial. Aun cuando no haya tendencias de cambio en la cantidad total de lluvia su distribución a lo largo del año puede verse afectada por el cambio climático, determinando cambios en el potencial erosivo de la lluvia. La erosividad de la lluvia es la causa primaria de la erosión del suelo constituyendo una limitación ambiental natural que restringe y condiciona el uso y manejo del suelo.

Por consiguiente, en un contexto de cambio climático, la comprensión de la alteración de las características de la lluvia y su efecto en la erosión del suelo es uno de los principales temas en los estudios de conservación del suelo.

En este trabajo se estudian y analizan las tendencias que tienen lugar en los índices de estacionalidad, concentración y erosividad de la precipitación, en la región de Andalucía Oriental abarcando las provincias de Málaga, Granada, Almería y Jaén, usando registros de precipitación mensual durante seis décadas recientes (1945 – 2005).

## 2. Área de estudio y fuente de datos de lluvia

Se circunscribe éste trabajo a la región de Andalucía oriental constituida por las provincias de Málaga, Granada, Almería y Jaén abarcando un total de 42.196 km<sup>2</sup> (Figura1). A escala continental, la región de Andalucía Oriental se engloba dentro del dominio climático mediterráneo con ciertos matices diferenciadores según el ámbito espacial, caracterizado por el predominio de las altas presiones estivales responsables de las altas temperaturas y de la típica sequía estival, interrumpida ocasionalmente por precipitaciones de tipo convectivo. Los inviernos se caracterizan por la presencia de inestabilidad atmosférica con las consiguientes precipitaciones que se concentran en las estaciones de otoño, invierno y primavera. No obstante, existen diferencias climáticas entre las cuatro provincias que conforman la región oriental de Andalucía.

**Figura 1. Región de Andalucía Oriental y localización de las estaciones analizadas**



En conjunto y por lo que respecta a la pluviometría anual cabe decir que obedece a tres patrones diferentes (Vanderlinden, 2001, García-Marín, 2008):

1. Patrón Atlántico. Caracterizado por la situación sinóptica de una depresión situada al norte o noroeste de la península. Generalmente está asociado a vientos del oeste cargados de humedad procedente del Atlántico que ocasionan frentes de lluvia que producen importantes precipitaciones en la costa atlántica y la meseta y que llega a afectar al norte de la región occidental de Andalucía. Su influencia se deja sentir en los meses de noviembre a marzo.
2. Patrón Sur. Caracterizado por la situación sinóptica de una depresión que se sitúa en las proximidades del Cabo de San Vicente, el Golfo de Cádiz o el estrecho de Gibraltar. Y que origina un flujo de aire húmedo del Atlántico que entra por el sur de la península, tanto por la costa atlántica como por la costa mediterránea. Este patrón desaparece en los meses de julio y agosto y de él depende en gran medida la precipitación anual del sur de la península.
3. Patrón Levante. Caracterizado por la situación sinóptica de una depresión que se sitúa al sur de la península y que puede verse reforzada por un centro de alta presión al norte. Esta situación ocasiona fuertes corrientes en dirección oeste, cargadas con aire extremadamente húmedo del mediterráneo. Estas masas de aire húmedo son forzadas a ascender por la orografía. Este patrón desaparece en julio y agosto y sus consecuencias se manifiestan en la región oriental de Andalucía.

**Tabla 1. Estaciones por provincias, áreas, densidad de estaciones y precipitación media**

Provincia	Superficie (km <sup>2</sup> )	Nº Estaciones	Densidad Estación/km <sup>2</sup>	Precipitación media (mm)		
				Media	Máxima	Mínima
<b>Málaga</b>	7.308	65	1/112,4	663,2	1305,4 (1996)	319,7 (2005)
<b>Granada</b>	12.635	90	1/140,4	476,4	888,2 (1996)	239,9 (2005)
<b>Almería</b>	8.769	45	1/194,9	334,6	771,2 (1989)	189,4 (1981)
<b>Jaén</b>	13.484	86	1/156,8	608,1	1092,1 (1960)	276,7 (1953)
<b>Región</b>	<b>42.196</b>	<b>286</b>	<b>1/147,5</b>	<b>536,2</b>	<b>278,9</b> (2005)	<b>946,4</b> (1996)

Según estos patrones generales, la provincia de Jaén se ubicaría dentro del patrón Atlántico, Almería y Granada dentro del Levante y Málaga dentro del patrón Sur. La combinación de estos patrones generales junto con la orografía propia de cada provincia, además de otros factores, determinan el régimen pluviométrico en cada una de ellas.

El estudio se ha basado en las series de datos de precipitación mensual de 286 estaciones pluviométricas (Tabla 1), distribuidas por toda la región (Figura 1) con una densidad media de 1 estación por cada 147,5 km<sup>2</sup>. El periodo investigado comprende los años de 1945 a 2005,

ambos inclusive y los registros de precipitación han sido obtenidos de la base de datos MOPREDAS (González-Hidalgo et al., 2011) construida con las series de datos originales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

### 3. Metodología

Se presentan en esta sección los enfoques metodológicos aplicados en este trabajo, concretamente las metodologías de cálculo del Índice de Estacionalidad de Walsh y Lawler (1981), del Índice de Concentración de la Precipitación (*ICP*) y del Índice Modificado de Fournier (*IMF*) de la erosividad de la lluvia, además del test de Mann-Kendall para el análisis de tendencias de series temporales

#### 3.1. Índice de Walsh y Lawler de estacionalidad de la precipitación

Para evaluar la estacionalidad de la precipitación se ha usado el índice establecido por Walsh y Lawler (1981) que cuantifica mediante una simple cifra la variabilidad de la precipitación a lo largo del año mediante la expresión

$$SI_i = \frac{1}{R_i} \sum_{n=1}^{n=12} P_{in} - \frac{R_i}{12} \quad (1)$$

donde  $R_i$  es la precipitación total anual para el año particular en estudio y  $P_{in}$  es la precipitación mensual del mes  $n$ . Este índice proporciona información sobre las variaciones interanuales de la estacionalidad, y varía desde cero (cuando todos los meses registran la misma cantidad de lluvia) hasta 1,83 (cuando toda la lluvia ocurre en un único mes). Los valores más altos del índice indican una gran desviación de una distribución equitativa de la precipitación a través del año, mientras que los valores cercanos a cero indican que hay poca o ninguna variación estacional en la precipitación. La Tabla 2, muestra los distintos regímenes de precipitación según el valor del índice.

Un  $SI_i$  medio a largo plazo para un lugar, puede calcularse de los índices individuales  $SI_j$  sobre un largo periodo,  $m$ , de al menos 30 años

$$SI_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{j=m} SI_j \quad (2)$$

El índice ha sido usado por muchos investigadores (Bello, 1998; Sumner et al, 2001; Livada y Asimakopoulos, 2005; Elagib, 2011).

**Tabla 2. Régimen de precipitación según el valor del  $SI$**

<b><math>SI</math></b>	<b>Régimen de lluvia</b>
< 0,19	Precipitación distribuida a través del año
0,20 -0,39	Precipitación distribuida a través del año pero con una definida estación más húmeda
0,40 -0,59	Algo estacional con una corta estación más seca
0,60 -0,79	Estacional
0,80 -0,99	Marcadamente estacional con un largo periodo seco
1,00 -1,19	La mayor parte de la precipitación en menos de 3 meses
> 1,20	Estacionalidad extrema, con casi toda la precipitación en 1-2 meses

### 3.2. Índice de Concentración de la Precipitación

La estacionalidad del régimen de lluvia también puede evaluarse mediante el índice de concentración de la precipitación (*ICP*), sugerido por Oliver (1980)

$$PCI_i = 100 \times \frac{\sum_{n=1}^{12} P_{in}^2}{R_i^2} \quad (3)$$

con  $P_{in}$  y  $R_i$  significando lo mismo que en la ecuación (1). Valores del *ICP* por debajo de 10 implican distribución uniforme de la precipitación, valores de 11 a 20 indican estacionalidad en la distribución de la precipitación, y valores por encima de 20 corresponden a climas con significativa variabilidad mensual. El índice ha sido utilizado por diversos autores como Apaydin (2006), De Luis et al. (2011) y Elagib (2011).

### 3.3. Índice Modificado de Fournier de erosividad de la lluvia

Fournier (1960) sugirió un índice, el cual fue posteriormente modificado por Arnoldus (1980), referido como índice modificado de Fournier (*IMF*) para evaluar el potencial de erosividad del régimen de lluvia, definido, para cada año  $i$ , por

$$IMF_i = \frac{12}{n=1} \frac{P_{in}^2}{R_i} \quad (4)$$

Según el valor del índice, la erosividad de la precipitación se clasifica de la siguiente manera: valores por debajo de 60 (notablemente baja); valores entre 60 y 90 (baja); valores de 90 a 120 (moderada); valores de 120 a 160 (alta); valores superiores a 160 (muy alta) (Nunes et al., 2014).

### 3.4. Test de Mann-Kendall para análisis de tendencias en series temporales

Este test, también denominado test tau de Kendall fue propuesto por Mann (1945) y Kendall (1975). Es un test no paramétrico basado en el rango que evalúa la significancia de una tendencia, y es ampliamente usado en la detección de tendencias en las series temporales de datos hidroclimáticos (Yue et al., 2002; Kahya y Kalayci, 2004; Oguntunde et al., 2011; Jung et al., 2011; Shadmani et al., 2012; Rougé et al., 2013).

La hipótesis nula  $H_0$  establece que una muestra de datos  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  es independiente e idénticamente distribuida, mientras que la hipótesis alternativa  $H_1$  establece que existe una tendencia monótonica en  $x$ . El test se basa en el estadístico  $S$ . Cada par de valores observados  $x_i, x_j$  ( $i < j$ ) de la variable aleatoria es inspeccionada para buscar si  $x_i > x_j$  o  $x_i < x_j$ , definiendo entonces  $S$  como (Yu et al., 1993; Douglas et al., 2000; Hamed, 2008)

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1+1}^n \text{sign } x_j - x_i \quad (5)$$

donde  $x_i, x_j$  son los datos secuenciales,  $n$  es el número total de datos de la serie temporal, y  $\text{sign}(x_j - x_i)$  es 1 para  $(x_j - x_i) > 0$ ; 0 para  $(x_j - x_i) = 0$ , y -1 para  $(x_j - x_i) < 0$ . Cuando  $n \geq 8$ , el estadístico  $S$  es aproximadamente normalmente distribuido. Cuando no existen valores repetidos de los datos, la media y la varianza vienen expresadas por

$$E S = 0 \quad (6)$$

$$Var S = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (7)$$

Cuando algunos datos de la serie se repiten, la varianza llega a ser

$$Var S = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^m t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (8)$$

donde  $m$  es el número de grupos de datos repetidos, cada uno con  $t_j$  observaciones repetidas. Para  $n > 10$  el estadístico estandarizado del test,  $Z$ , es calculado por

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var S}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var S}} & S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Este estadístico,  $Z$ , sigue la distribución normal tipificada con media cero y varianza unidad, y se usa para detectar una tendencia significativa. Si  $Z > 0$ , indica tendencia creciente, y si  $Z < 0$ , indica tendencia decreciente en la serie temporal analizada. Por consiguiente, la hipótesis nula  $H_0$  es rechazada al nivel de significancia  $\alpha$  (la probabilidad de que el test detecte tendencia cuando no la hay) si  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ , donde  $Z_{1-\alpha/2}$  es el valor crítico de  $Z$  según la distribución normal tipificada. Para el nivel de significancia del 5%, el valor de  $Z_{1-\alpha/2}$  es 1,9604.

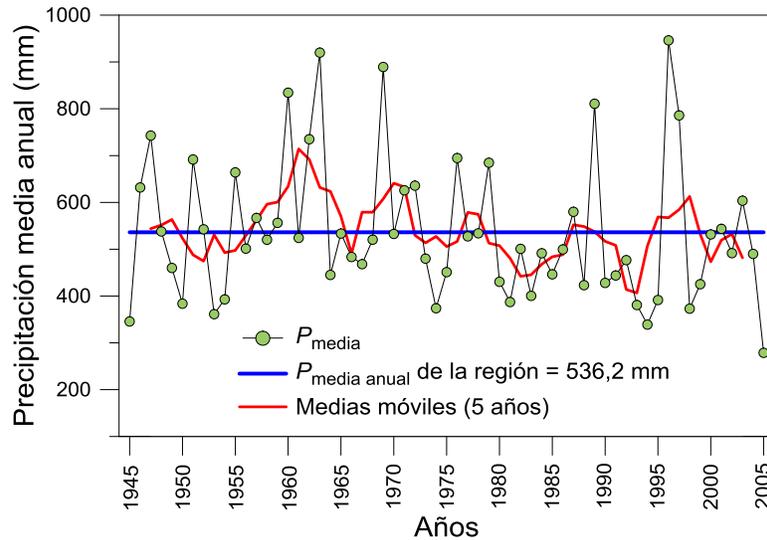
## 4. Resultados y discusión

De los datos originales de precipitación mensual de las 286 estaciones disponibles en la región (periodo 1945 – 2005) se obtuvieron las series temporales de la precipitación media regional, y se estimaron las series temporales de los valores de los índices de estacionalidad de Walsh-Lawler, *ICP* e *IMF* para cada estación, así como sus valores medios interanuales utilizando las expresiones descritas en la metodología. Las series temporales de la precipitación media en la región y de los tres índices anteriores se usaron para determinar tendencias mediante la aplicación del test de Mann-Kendall.

### 4.1. Precipitación media anual

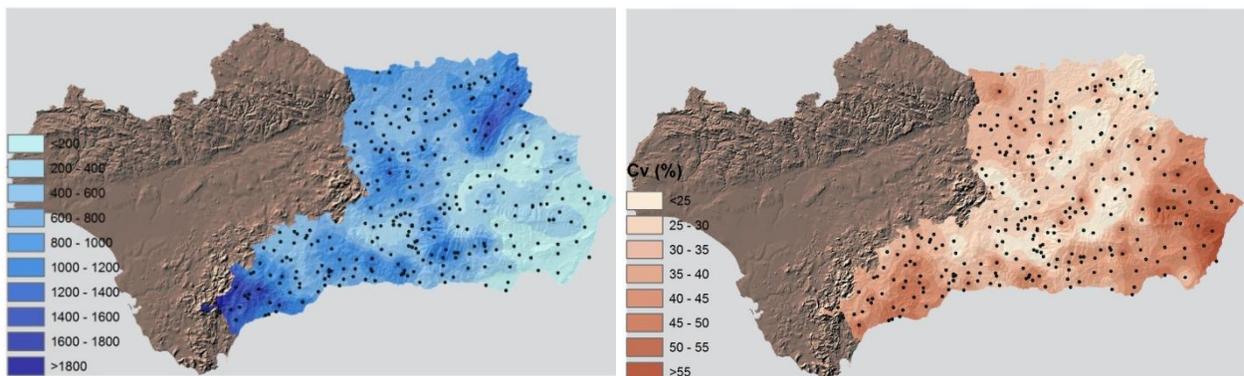
Para analizar la tendencia de la precipitación media anual en la región, se obtuvo la serie temporal de la precipitación media regional estimando cada año la media aritmética de la precipitación anual de las 286 estaciones consideradas (Figura 2). La precipitación media anual en la región varía entre 278,9 mm en el año 2005 y 946,4 mm en el año 1996, siendo la media regional para el periodo de estudio de 536,2 mm.

**Figura 2. Precipitación media en la región y variabilidad interanual**



La región presenta una desigual distribución espacial de la precipitación media (Figura 3a), variando entre 193,9 mm (Estación 6371Huercal-Overa) y 1858,8 mm (Estación 6039 Cortes de la Frontera), correspondiendo las zonas más áridas al sureste de la provincia de Almería y las más húmedas al oeste de la provincia de Málaga (Serranía de Ronda) y al noroeste de la provincia de Jaén (Sierra de Segura). Además de la irregular distribución espacial, la precipitación muestra una gran variabilidad interanual. La variabilidad interanual de la precipitación media en la región es alta con un coeficiente de variación del 27,8 %. La Figura 3b muestra la distribución espacial del coeficiente de variación de la precipitación anual a escala de estación individual, variando entre 25,2 % (Estación 5124 Gor, Granada) y 56,3 % (Estación 6339 Los Gallardos, Almería). Puede observarse como la mayor variabilidad interanual de la precipitación se presenta en la zona este de Almería y en la zona sur de Málaga.

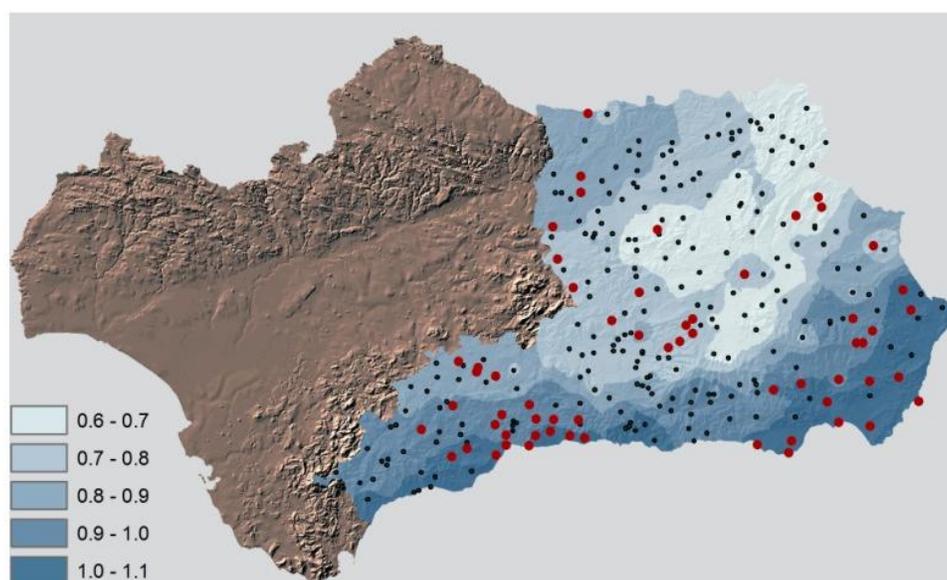
**Figura 2. Variabilidad espacial de la precipitación media anual de la región**



#### 4.2. Índice de estacionalidad según Walsh y Lawler

Se obtuvieron las series temporales de los índices de estacionalidad anuales  $SI_i$  de cada una de las 286 estaciones de la región a partir de los valores de las precipitaciones mensuales en cada uno de los observatorios en el periodo 1945 – 2005 como se indica en la metodología. De cada una de las series temporales se estimó, en cada estación, el valor medio de este índice,  $SI_i$ , y se representó su variabilidad espacial (Figura 4), que oscila entre 0,678 (régimen de lluvia estacional) en la estación 7054 Salto de Millar (Jaén) y 1,058 (la mayor parte de la precipitación en menos de 3 meses) en la estación 6339 Los Gallardos (Almería), con valor medio en la región de 0,839 (régimen de lluvia marcadamente estacional con un largo periodo seco). Puede observarse como la mayor estacionalidad se presenta a lo largo de la costa mediterránea y la menor estacionalidad en el noroeste de la provincia de Granada y la Sierra de Segura en Jaén.

**Figura 4. Variación espacial del índice  $SI_i$  de Walsh-Lawler para el periodo 1945-2005 (Los puntos rojos indican estaciones con tendencia creciente del  $SI$ )**



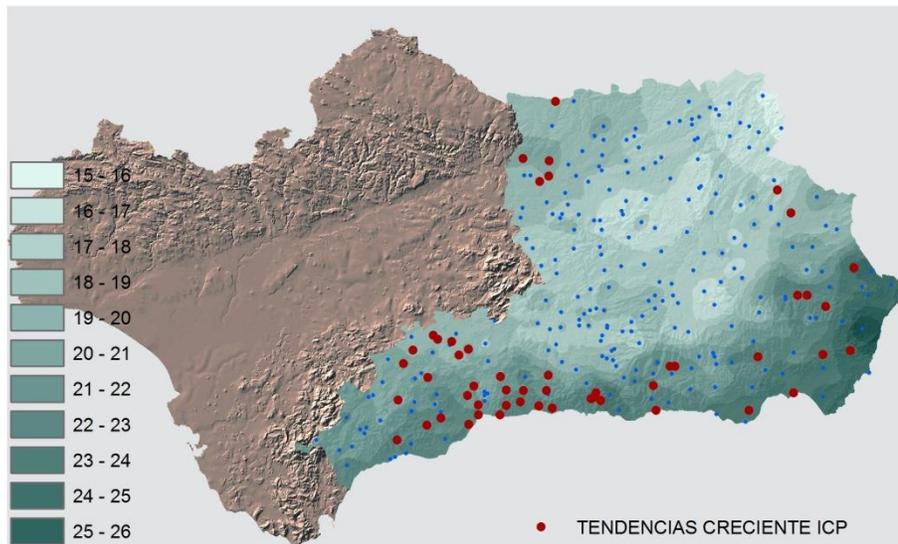
No se ha observado ninguna correlación entre los valores de la precipitación media anual de las 286 estaciones de la región y los correspondientes valores medios  $SI_i$ . Esto puede explicarse por el hecho de que los valores de los índices  $SI_i$  representan únicamente la variabilidad interanual de la lluvia.

#### 4.3. Índice de Concentración de la Precipitación (ICP)

Análogamente a como se hizo con el índice de estacionalidad de Walsh-Lawler, se procedió a obtener las series temporales de los valores anuales del ICP en cada una de las 286 estaciones de la región y en cada uno de los años de la serie 1945 – 2005, según la expresión (3) de la metodología. De cada una de las 286 series temporales se estimaron los valores medios y se representó su variabilidad espacial (Figura 5), oscilando esta variabilidad entre 14,8 (estacionalidad en la distribución de la precipitación) en la estación 7054 Salto de Millar (Jaén) y 1,058 (significativa variabilidad mensual de la precipitación) en la estación 6339 Los Gallardos (Almería), coincidiendo ambas estaciones con las señaladas por el índice de Walsh-Lawler. El

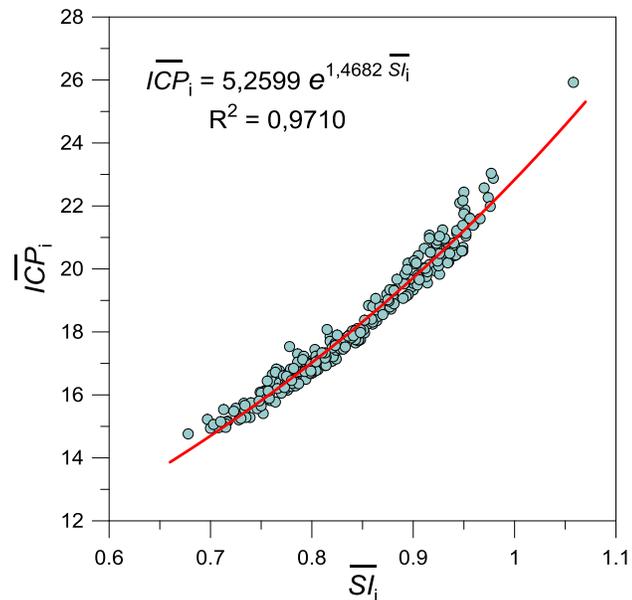
valor medio del  $ICP_i$  para la región es 18,14 (régimen de lluvia estacional). Según este índice la mayor concentración de la precipitación se presenta, también, a lo largo de la franja de la costa mediterránea, siendo más acentuada en la parte oriental, coincidiendo con los resultados obtenidos con el índice de Walsh-Lawler.

**Figura 5. Variación espacial del  $ICP_i$  para el periodo 1945-2005 (los puntos rojos indican estaciones con tendencia creciente del ICP)**



La concordancia entre estos dos índices se pone de manifiesto en la excelente correlación que existe entre ambos (Figura 6).

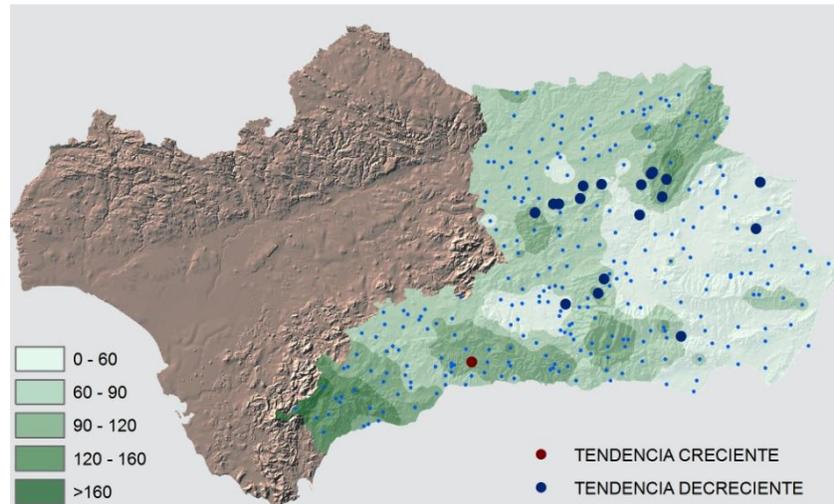
**Figura 6. Relación entre los índices  $ICP_i$  y  $SI_i$**



#### 4.4. Índice Modificado de Fournier de erosividad de la lluvia (IMF)

Finalmente, se obtuvieron las series temporales de los  $IMF_i$  de erosividad de la lluvia en cada una de las estaciones durante el periodo analizado

**Figura 7. Variación espacial del  $IMF_i$  para el periodo 1945-2005**  
(los puntos rojos indican estaciones con tendencia creciente del IMF, y los puntos azules estaciones con tendencia decreciente del IMF)



La Figura 7 muestra la variabilidad espacial del valor medio del  $IMF_i$  individual a través del territorio de la región, variando entre 43,0 (erosividad de la lluvia notablemente baja) en la estación 6325OAlmería-Aeropuerto y 363,1 (erosividad muy alta) en la estación 6039 Cortes de la Frontera de la serranía de Ronda (Málaga), siendo la media de la región 94,6 (erosividad moderada). Puede observarse como las zonas de mayor riesgo de erosión por la agresividad de la lluvia se presentan en la serranía de Ronda, Montes de Málaga, Axarquía, sierra Nevada y sierra de Segura.

#### 4.5. Análisis de tendencias de la precipitación media anual y de los valores anuales de los índices $SI_i$ , $ICP_i$ e $IMF_i$

Calculados los valores anuales de la precipitación media en la región, y los valores anuales de los índices de estacionalidad  $SI_i$  de Walsh-Lawler,  $ICP_i$  e  $IMF_i$ , en el periodo 1945-2005, en cada una de las estaciones, se procedió a analizar la existencia de tendencias en las series temporales correspondientes mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall, realizando las pruebas con un nivel de significancia del 5 %, según la metodología expuesta en el apartado 3.4.

Respecto a la serie temporal de los valores anuales de la precipitación media en la región (Figura 2) no se detectó tendencia significativa al aceptarse la hipótesis nula  $H_0$  de no existencia de tendencia monótonica. Respecto a los tres índices considerados en este estudio, se detectaron que algunas series temporales de los valores anuales de los correspondientes índices mostraban tendencias estadísticamente significativas (nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ ).

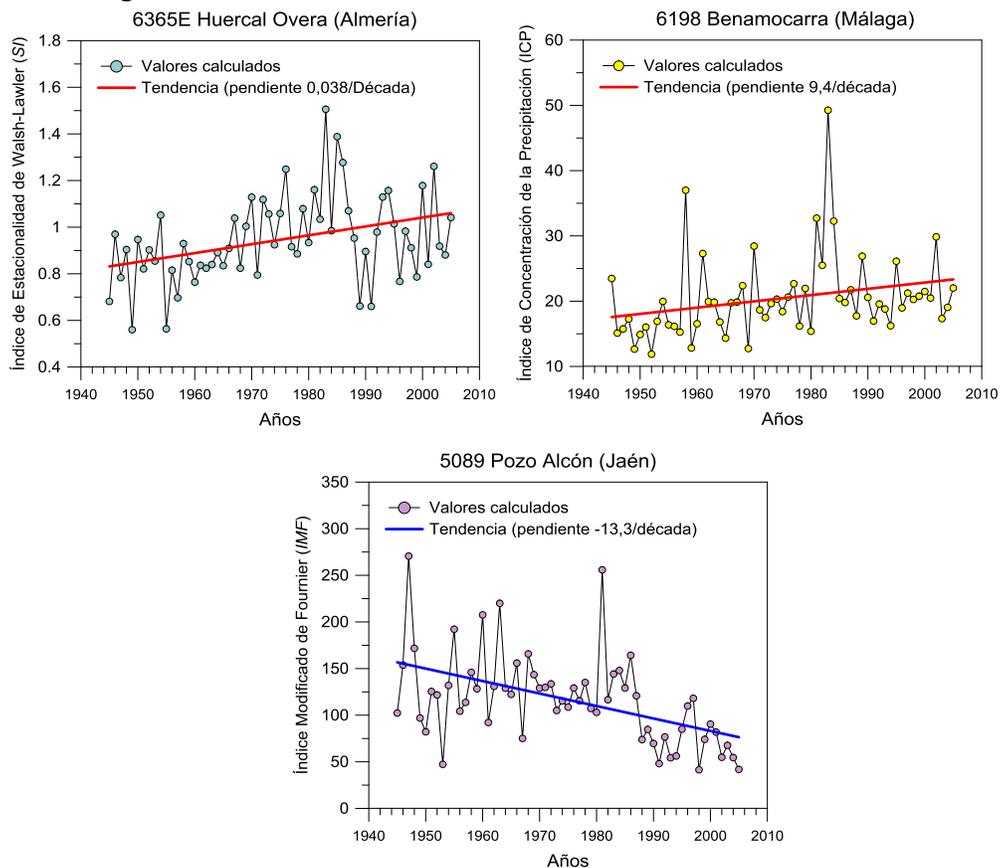
En las Figuras 4, 5 y 7 se muestran las estaciones, marcadas con puntos más gruesos, en las que se han detectado tendencias estadísticamente significativas. Referente a la estacionalidad de la precipitación determinada por el índice de Walsh-Lawler, puede observarse (Figura 4) que 64 estaciones muestran una tendencia creciente de la estacionalidad, emplazándose estas estaciones, por lo general, en las zonas que mayor estacionalidad presenta el régimen de lluvias. Corresponde a la provincia de Málaga el mayor número de estaciones donde se está produciendo este aumento de la estacionalidad de la lluvia, seguida de la provincia de Almería, provincias que presentan la mayor variabilidad interanual de la precipitación media (Figura 2b).

En la Figura 5 pueden observarse las 52 estaciones que presentan tendencia creciente, estadísticamente significativa, del índice de concentración de la precipitación *ICP*. El patrón espacial de la ubicación de estas estaciones es similar al mostrado en el índice de Walsh-Lawler, correspondiendo a Málaga la provincia con mayor número de estaciones en que el *ICP* está aumentando y consecuentemente aumentando la concentración de la precipitación.

Por último, la erosividad de la lluvia, representada por el *IMF* (Figura 7), está disminuyendo en 18 estaciones, emplazadas en las provincias de Jaén (12), Granada (3) y Almería (3), y aumentando en la estación 6194 Comares de la provincia de Málaga.

En la Figura 8 se representan tres casos de las tendencias de los tres índices estudiados.

**Figura 8. Tendencias de los índices *SI*, *ICP* e *IMF* en tres estaciones de la región**



## 5. Conclusiones

Se han analizado las características espaciales y temporales de la precipitación media anual en la región de Andalucía Oriental, además de la estacionalidad y el potencial erosivo del régimen de lluvias con los datos de precipitación mensual de 286 estaciones pluviométricas distribuidas por la región durante el periodo 1945 a 2005. La estacionalidad de la lluvia se ha caracterizado mediante dos índices: a) el índice *SI* propuesto por Walsh y Lawler (1981), y b) el índice *ICP*, de concentración de la precipitación propuesto por Oliver (1980); y la erosividad de la lluvia mediante el índice modificado de Fournier, *IMF*, propuesto por Arnoldus (1980). Los tres índices se han evaluado en cada estación individualmente año a año para estudiar su evolución temporal y existencia de tendencias.

La precipitación media anual en la región presenta una fuerte variabilidad interanual, así como una desigual distribución espacial. El punto más lluvioso presenta una precipitación media anual de 1858,8 mm (estación 6039 Cortes de la Frontera), y el más árido 193,9 mm (estación 6371 Huerca-Overa). No se ha detectado ninguna tendencia, estadísticamente significativa en la evolución temporal de la precipitación media de la región en el periodo analizado.

Se ha detectado una fuerte estacionalidad de la lluvia en la franja costera mediterránea y zona oriental de Almería, donde se incluyen las áreas más húmedas y áridas, respectivamente, de la región, confirmada por ambos índices, de Walsh-Lawler y de concentración de la precipitación.

En 64 estaciones, según el índice de estacionalidad *SI* de Walsh-Lawler, y 52 observatorios, según el *ICP*, distribuidos, principalmente, por las zonas de mayor estacionalidad, se han detectado tendencias crecientes de estos índices, lo que viene a corroborar un aumento de la estacionalidad y concentración de la precipitación en el contexto de cambio climático.

Finalmente, se ha analizado la distribución espacial de la erosividad de la lluvia mediante el *IMF*, observándose que las zonas de mayor riesgo de erosión corresponden a las zonas más húmedas (serranía de Ronda, zona de la Axarquía de Málaga, sierra Nevada y sierra de Segura) de Andalucía Oriental. En 18 estaciones de la región, principalmente emplazadas en áreas de alta erosividad, se ha detectado una tendencia decreciente del *IMF*, y solo en 1 estación, la 6194 Comares, emplazada en las estribaciones de los Montes de Málaga, se ha detectado una tendencia creciente, estadísticamente significativa, de la erosividad de la lluvia en el periodo estudiado.

## 6. Referencias

- .Apaydin, H., Erpul, G., Bayramin, I., y Gabriels, D.: Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia Project, Turkey, *J. Hydrol.*, 328, 726–732, 2006.
- Arnoldus HM. 1980. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In Assessment of Erosion, De Boodt M, Gabriels D(eds). John Wiley and Sons, Inc.: Chichester; 127–132.
- Bello N.J., 1998. Evidence of climate change based on rainfall records in Nigeria. *Weather* 53: 412–418.

- M. De Luis M., J. C. González-Hidalgo, M. Brunetti, y L. A. Longares, 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 1259–1265.
- Elagib N.A., 2011. Changing rainfall, seasonality and erosivity in the hyper-arid zone of Sudan. *Land Degrad. Develop.* 22: 505–512
- Fournier H. 1960. Climatet erosion. PressesUniversitaires de France. Paris.
- García-Marín, A.P. 2008. *Análisis multifractal de series de datos pluviométricos en Andalucía*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 175 p
- González-Hidalgo J.C., M. Brunetti y M. de Luis, 2011. A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005), *Int. J.Climatol.* 31:715-731
- Jung I-W, D.H.Baeand y G. Kim, 2011. Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea, *Int. J.Climatol.* 31: 359–370.
- Kahya E. y S.Kalayci, 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey, *J. Hydrol.* 289: 128–144.
- Kendall M.G., 1975. Rank Correlation Methods, Ed, Charles Griffin, London.
- Livada I. y D.N. Asimakopoulos, 2005. Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece, *Climate Research*, 28: 155–161
- Mann H.B., 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245-259.
- Oguntunde P.G., B.J. Abiodunand y G.Lischeid, 2011. Rainfall trends in Nigeria, 1901–2000, *J.Hydrol.* 411: 207–218.
- Oliver JE. 1980. Monthly precipitation distribution: A comparative index. *Professional Geographer* 32: 300–309.
- Nunes A.N., L. Lourenço, A. Vieira y A. Bento-Gonçalves, 2014. Precipitation and Erosivity in Southern Portuga:l Seasonal Variability and Trends (1950-2008). *Land Degrad. & Develop.*(2014) DOI. 10.1002/ldr.2265
- Rougé C, Y.Ge y X.Cai, 2013. Detecting gradual abrupt changes in hydrological records, *Adv. Water Resour*, 53: 33-44.
- Shadmani M., S.Marofiand y M.Roknian, 2012. Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran, *Water Resour Manage*, 26:211–224.
- Sumner G, V. Homar y C. Ramis, 2001. Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain. *Int. J.Climatol.* 21:219–247.
- Vanderlinden K. 2001. *Análisis de procesos hidrológicos a diferentes escalas espacio-temporales*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 303 p
- Walsh P.D. y D.M. Lawler, 1981. Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time, *Weather* 36: 201–208.
- Yue S., P. Pilon, B.Phinneyand y G. Cavadias, 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series, *Hydrologycal Processes*, 16: 1807-1829.

