

## Tendencias en la erosividad de la lluvia (1955-2006) en la cuenca del Ebro

M. Angulo Martínez <sup>(1)</sup>, S.M. Vicente Serrano<sup>(2)</sup>, S. Beguería<sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC). Av. Montañana, 1005, CP. 50059 Zaragoza (España). E-mail: [mangulo@eead.csic.es](mailto:mangulo@eead.csic.es); [sbegueria@eead.csic.es](mailto:sbegueria@eead.csic.es)

(2) Departamento de Procesos Geoambientales y Cambio Global. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Av. Montañana, 1005, CP. 50059 Zaragoza (España) E-mail: [svicen@ipe.csic.es](mailto:svicen@ipe.csic.es)

### RESUMEN

Rainfall is one of the main factors affecting soil erosion. This effect is summarized in the concept of rainfall erosivity which involves the drop size distribution and kinetic energy of an event, its duration and intensity, and the runoff that generates.

To calculate rainfall erosivity several indices can be applied. The most extensively used is the R factor of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). To compute this index continuous rainfall data are needed. This kind of data is difficult to obtain with a good spatial and temporal coverage.

In this work, daily rainfall records have been converted into daily rainfall erosivity data. For this objective, we used the Richardson *et al.* (1983) exponential relationship between rainfall volume and rainfall erosivity to create the Daily Rainfall Erosivity Model (DREM). The study has been carried out in 112 observatories in the Ebro Basin with rainfall data every 15 minutes (SAIH network) for the period 1997-2007. Results were satisfactorily validated with a set of validation statistics and goodness of fit between rainfall erosivity data series computed by the RUSLE procedure and the ones obtained by the exponential relationship. The DREM application to a longer daily rainfall data base (1955-2006) allowed creating the Daily Rainfall Erosivity Data Base which includes 156 observatories in the Ebro Basin.

The second objective of this work was to analyze the temporal evolution of rainfall erosivity over the last 52 years. Results showed a decrease of rainfall erosivity in the majority of the area, being more intense in the east of the region.

Monthly results showed clear spatial patterns with important implications for agriculture. Overall, the summer months experimented high increments in rainfall erosivity in the west of the region, were Atlantic influences generate more regular behaviour than in the Mediterranean side. These results will allow promoting soil conservation measures, in special in the months when soil is uncovered.

**Keywords:** Rainfall erosivity; Daily Rainfall Erosivity Model; Trends; Ebro basin; Spain

### INTRODUCCIÓN

Dentro de los factores que influyen en la erosión del suelo, la lluvia es, posiblemente, el más independiente al control humano. La medición de la agresividad de la lluvia requiere un gran esfuerzo de experimentación, a partir del cual se crean índices capaces de caracterizar el comportamiento de la lluvia y susceptibles de ser incorporados en modelos de erosión más amplios y completos. Entre los índices más extendidamente aplicados resalta el factor R de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo, RUSLE (Renard *et al.* 1996). El cálculo de este índice requiere datos de precipitación a una resolución temporal de, al menos, 15 minutos, difícilmente disponibles con una adecuada cobertura espacio-temporal.

Ha habido varios intentos de aproximarse al cálculo del factor R mediante datos con una mayor agregación temporal, como por ejemplo a partir de la precipitación total anual (Renard and Freimund 1994), mensual (Yu and Rosewell 1996), o por evento (Richardson *et al.* 1983). Consideramos que la escala diaria es un buen indicador del comportamiento de la erosividad de la lluvia. Presenta la ventaja de ser datos ampliamente disponibles en la actualidad con una buena cobertura espacio-temporal, capaces de reflejar de forma más precisa las características de la lluvia.

Este trabajo persigue un doble objetivo: i) aplicar un Modelo de Erosividad Diario que permita convertir series de precipitación diaria en series de erosividad de la lluvia diaria; y ii) evaluar la evolución temporal de la erosividad de la lluvia anual en la cuenca del Ebro durante el periodo 1955-2006.

### Base de datos

Para la realización del estudio se ha contado con dos bases de datos (Fig 1):

- Base de datos de precipitación quinceminutal en el periodo 1997-2007, procedente de la red SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro, conformada por 112 observatorios en la cuenca del Ebro. A partir de esta base de datos se calcularon series de erosividad diaria mediante la metodología del factor R de la RUSLE (Brown and Foster 1987), y se estimaron los parámetros del modelo de Richardson *et al.*, (1983) para la estimación de la erosividad a partir de datos de precipitación diaria.
- Base de datos de precipitación diaria en el periodo 1950-2006, procedente de AEMET (Vicente-Serrano *et al.* 2009), conformada por 156 observatorios que abarcan las demarcaciones provinciales que tienen territorio en la cuenca del Ebro. Se calcularon series de erosividad diaria utilizando los parámetros estimados a partir de la red SAIH. El análisis de tendencias se realizó sobre estas últimas series.

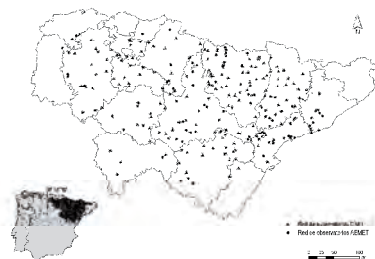


Figura 1. Red de observatorios incluidos en el estudio

### Área de estudio

El área de estudio se encuentra situada al NE de España. Se corresponde con la Cuenca Hidrográfica del Ebro, que ocupa un área de 85,000 km<sup>2</sup>. El valle del Ebro es una depresión interior rodeada de sistemas montañosos. La situación de la cuenca, en la parte meridional de las latitudes medias, próxima a las masas de agua cantábrica y mediterránea, condiciona la influencia de los flujos de masas de aire atlánticas y mediterráneas, modificadas por las características del relieve y aislamiento interior.

Se detecta un gradiente NO-SE en la distribución espacial de la erosividad de la lluvia que divide el área de estudio en 3 grupos, según el comportamiento mensual de la erosividad. Hacia el NO, la influencia atlántica es más intensa, diferenciando esta zona del resto al recibir mayores precipitaciones que caen de forma regular, el pico de erosividad se produce a principios de verano. La zona central agrupa la mayoría de los observatorios. La precipitación media mensual es ligeramente inferior y los picos máximos de erosividad se producen en los meses centrales del verano y a principios de otoño. Al NE los observatorios muestran un régimen marcadamente mediterráneo con dos máximos pluviométricos equinocciales. Las lluvias más erosivas se producen en otoño, a diferencia de los máximos pluviométricos primaverales, que no aportan valores de erosividad significativos.

## MÉTODOS

La erosividad de la lluvia durante un periodo de tiempo ( $EI$ ) se puede estimar a partir de la precipitación acumulada ( $P$ ) según una relación exponencial, tal y como se aprecia en la ecuación 1 (Richardson *et al.* 1983):

$$EI = a P^b + \varepsilon, \quad (1)$$

donde  $a$  y  $b$  son parámetros empíricos y  $\varepsilon$  es un error aleatorio. Los parámetros  $a$  y  $b$  han de ajustarse mensualmente para adaptarse a las diferencias estacionales en la generación de la precipitación (Brown y Foster, 1987).

La interpolación espacial, mediante smoothed splines, del valor de los parámetros obtenidos en los 112 observatorios permitió obtener los valores correspondientes a estos parámetros en los observatorios con series más largas. La aplicación de la ecuación 1 convirtió los registros diarios de precipitación de la base de datos de AEMET en una base de erosividad diaria para el periodo 1955-2006.

Finalmente se analizó la evolución temporal de la erosividad de la lluvia mediante análisis de regresión lineal de las series temporales de erosividad contra el tiempo.

## RESULTADOS

Durante el periodo analizado, 1955-2006, la capacidad erosiva de la lluvia a escala anual ha seguido una tendencia decreciente en la mayoría de los observatorios que engloban el área de estudio (75%). En estos observatorios, la agresividad de la lluvia ha disminuido, de media, 200 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>. El mayor descenso, con una tendencia significativa al 95% de confianza, se ha producido en la zona Este paralela al Mediterráneo, donde la disminución llega a ser superior a 400 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, con un descenso medio del 35% a lo largo de todo el periodo (Fig. 2). Sin embargo, en la zona central y hacia el Oeste se aprecia un incremento. La media de incremento, en aquellos observatorios donde se produce, es aproximadamente de 150 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> sobre el valor inicial, aunque en algunos puntos supera los 600 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>.

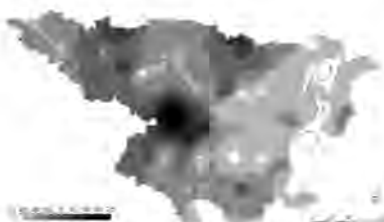


Figura 2. Tendencias de erosividad de la lluvia anual en la cuenca del Ebro durante el periodo 1955-2006. Los valores indican la magnitud de la tendencia (% de variación anual). Isolíneas: nivel de significación = 0.05 (95% de nivel de confianza).

A escala mensual se aprecia un descenso generalizado, exceptuando algunos meses (Fig. 3). Los patrones espaciales de los meses invernales difieren entre sí. Se aprecia un descenso significativo en la zona central del Pirineo en febrero, mientras que enero y febrero muestran un incremento en la zona Sur-Sureste. El mes de abril presenta un aumento significativo en la parte central del área, especialmente intenso en el centro del valle del Ebro; hacia su desembocadura esta tendencia se mantiene también en mayo y junio. Los meses estivales, julio y agosto, muestran los mayores incrementos en la erosividad, aunque sólo en la mitad Oeste. Los meses otoñales, octubre y noviembre, muestran incrementos en los Pirineos y hacia el Este, respectivamente.

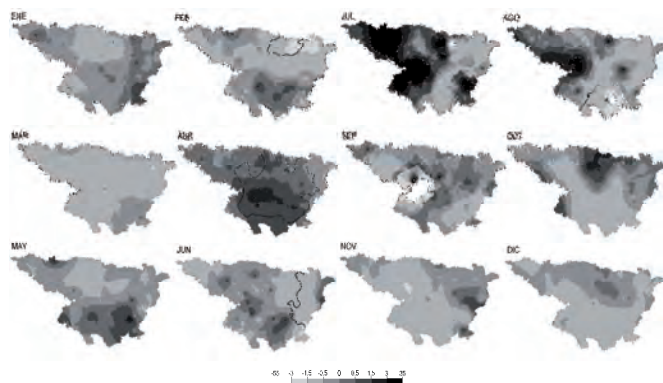


Figura 3. Distribución espacial de las tendencias de erosividad a escala mensual de la lluvia en la cuenca del Ebro durante el periodo 1955-2006. Los valores indican la magnitud de la tendencia (% de variación total en el periodo). Isolíneas: nivel de significación = 0.05 (95% de nivel de confianza).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La implantación de medidas encaminadas a la conservación del suelo, con especial interés para la agricultura, requiere un buen conocimiento de todos los factores que influyen en la degradación del suelo. Ante escenarios de cambio climático, la evaluación de la evolución temporal en la capacidad erosiva de la lluvia presenta el valor añadido de vincular la dinámica atmosférica con los impactos erosivos que produce, al aplicar índices, basados en mediciones experimentales, que resumen estas características.

El descenso generalizado en la agresividad de la lluvia podría explicarse por la tendencia decreciente en la cantidad de precipitación. Asimismo, la tendencia hacia lluvias más erosivas que experimentan los meses estivales puede explicarse por una mayor incidencia de precipitaciones tormentosas de carácter convectivo, con importantes consecuencias en la agricultura y la conservación del suelo, especialmente en la zona Noroeste cuyas características pluviométricas se distinguen por presentar regímenes más regulares.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren expresar su agradecimiento a la Confederación Hidrográfica del Ebro—CHE y a la Agencia Española de Meteorología (AEMET) por facilitar los datos empleados en el estudio. M.A. disfruta de una beca JAE-Predoc (CSIC).

## REFERENCIAS

- ❖ Brown, L.C., Foster, G.R., 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30: 379-386.
- ❖ Renard, K.G., Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157 (1-4): 287-306.
- ❖ Richardson, C.W., Foster, G.R., Wright, D.A., 1983. Estimation of Erosion Index from Daily Rainfall Amount. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 26, 153-160.
- ❖ Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I., García-Ruiz J.M., García-Vera M.A., Cuadrat J.M., Stepanek P., 2009. A complete daily precipitation database for North-East Spain: reconstruction, quality control and homogeneity. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1850 (in press)