



## Erosión hídrica y conectividad en un Calcisol cultivado: variaciones espacio temporales de la pérdida y acumulación de suelo

Manuel López-Vicente <sup>a,\*</sup>, Laura Quijano <sup>a</sup>, Leticia Palazón <sup>a</sup>, Leticia Gaspar <sup>b</sup>, Javier Machín <sup>a</sup>, Ana Navas <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC. Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España

<sup>b</sup> Cranfield Water Sciences Institute, Cranfield University. Cranfield, Bedfordshire MK43 0AL, Reino Unido

\* Correo electrónico: [mvicente@eead.csic.es](mailto:mvicente@eead.csic.es); Teléfono: 976-71-61-61

### RESUMEN

La modelización de la pérdida y redistribución del suelo resulta una tarea de complejidad creciente al aumentar la resolución temporal y espacial del estudio. En este trabajo se aplican los modelos *ModRMMF* e *IC* de erosión del suelo y conectividad del sedimento, respectivamente, en una parcela de cultivo del Prepirineo Central a alta resolución espacial (1 x 1 m). El análisis de los resultados obtenidos con ambos modelos permite evaluar la capacidad de cada uno de ellos para predecir los distintos procesos implicados. El área de estudio presenta un clima mediterráneo continental y se encuentra hidrológicamente aislada al norte y al sur por un camino asfaltado y una acequia de drenaje, respectivamente. La pérdida de suelo promedio, para el conjunto del área de estudio, es de 1,84 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, teniendo lugar el 78% de la pérdida total en sólo 5 meses: marzo, abril, mayo, octubre y noviembre. Este valor anual es ligeramente superior a la máxima tasa de erosión tolerable e inferior al cuantificado en otros suelos cultivados del Prepirineo. El mapa de conectividad identifica con detalle la red de drenaje y el análisis comparativo de los valores de erosión y conectividad ha permitido identificar dos poblaciones, a partir de un valor de *IC* = -4.2, que corresponden a zonas en las que predominan los procesos de pérdida o acumulación neta de suelo. La aplicación conjunta de ambos modelos resulta acertada, al añadir valor, el uno sobre el otro, a las predicciones que resultan por separado.

**Palabras clave:** erosión hídrica; modelo *ModRMMF*; conectividad; cultivo; Cuenca del Ebro

### INTRODUCCIÓN

La pérdida de suelo es una de las principales amenazas para la sostenibilidad de los recursos hídricos y edáficos, y la intensificación de la actividad humana acrecienta este problema. En Europa, entre 1990 y 2006, al menos 275 hectáreas de suelo por día se han perdido definitivamente debido al sellado del suelo (cobrimiento de las tierras fértiles), y la erosión del suelo por el agua afecta a 1,3 millones de km<sup>2</sup>, una superficie equivalente a 2,5 veces el tamaño de Francia (CE 2012). La degradación del suelo afecta a nuestra capacidad para producir alimentos, prevenir las sequías y las inundaciones, atajar la pérdida de la biodiversidad y luchar contra el cambio climático. El uso combinado de modelos de predicción con herramientas avanzadas de tipo SIG permite obtener mapas y valores precisos de los procesos que dirigen la pérdida, transporte a acumulación del suelo.

En este trabajo se evalúa la capacidad de un modelo de erosión hídrica para predecir el patrón espacial de la pérdida de suelo en una parcela de cultivo, junto con su área de drenaje. Para ello, se aplica en primer lugar el modelo de erosión *Modified Revised Morgan, Morgan and Finney* (*ModRMMF*) (Morgan 2001; López-Vicente y Navas 2010) a escala mensual y anual, y los resultados obtenidos se analizan con los del modelo semi-cuantitativo *Index of Connectivity* (*IC*) de Borselli et al. (2008). Éste último índice identifica espacialmente

las zonas en las que predominan los procesos de pérdida y acumulación, y evalúa estas zonas según el grado en el que tienen lugar estos procesos. Estos modelos se aplican en una parcela de cultivo de cereal de invierno de secano del Prepirineo central, en la provincia de Zaragoza, representativa de los agro-ecosistemas mediterráneos de media montaña.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo semi-físico *ModRMMF* predice la tasa mensual y anual de desagregación del suelo por salpicadura ( $F$ ) y escorrentía ( $H$ ), y compara la suma de éstas con la capacidad de transporte de la escorrentía ( $TC$ ) para calcular la pérdida de suelo ( $E$ ). Este modelo también incluye la mejora de Morgan y Duzant (2008) para considerar el efecto de la pendiente ( $S$ , radianes) sobre la cantidad de lluvia mensual ( $R_m$ , mm) recibida por unidad de área ( $ER_m$ , mm), y tras considerar el porcentaje de lluvia interceptada por la vegetación ( $A_m$ , 0-1):

$$E = \min \{ (F + H), TC \} \quad (1)$$

$$ER_m = R_m (1 - A_m) / \cos S \quad (2)$$

El modelo *IC* calcula la conectividad potencial del suelo erosionado con la red de drenaje efectiva en cada ladera. Este modelo supone una mejora frente a otros modelos de transporte del sedimento al considerar en cada píxel el efecto combinado del área contributiva ( $D_{up,K}$ ) y del tiempo y distancia de viaje de las partículas desagregadas ( $D_{dn,K}$ ):

$$IC_K = \log_{10} \left( \frac{D_{up,K}}{D_{dn,K}} \right) = \log_{10} \left( \frac{\overline{W}_K \cdot \overline{S}_K \cdot \sqrt{A_K}}{\sum_{i=K, n_K} \frac{d_i}{W_i \cdot S_i}} \right) \quad (3)$$

donde,  $\overline{W}_K$  (-) es el factor ponderado del área contributiva,  $\overline{S}_K$  (m/m) es la pendiente promedio del área contributiva,  $A_K$  (m<sup>2</sup>) es el área contributiva total,  $d_i$  (m) es la longitud de la línea de drenaje en cada celda, y  $W_i$  (-) y  $S_i$  (m/m) son la contribución y la pendiente de cada celda. El subíndice  $K$  indica que cada píxel tiene su propio valor de conectividad, cuyo rango de valores oscila entre  $[-\infty, +\infty]$ . Los valores positivos o mayores aparecen en zonas de alta conectividad, generalmente de pérdida neta de suelo, mientras que los valores de  $IC_K$  más bajos se asocian con áreas de baja conectividad o de acumulación predominante.

El área de estudio (42° 25' 36" N; 1° 13' 12" O) es una parcela de cultivo de cereal de invierno de secano, junto con su área de drenaje, situadas en las sierras exteriores del Pirineo Central, en la provincia de Zaragoza. El campo de cultivo cubre un 90% de las 1,9 ha de superficie total y está rodeada de quejigos, coscojas y zonas de vegetación herbácea. El camino asfaltado situado al norte de la parcela y la acequia de drenaje al oeste, aíslan el área de estudio, de tal modo que el área contributiva del campo de cultivo es muy pequeña y la escorrentía vierte directamente al Barranco de la Reina situado al este y sur de la parcela. El clima es mediterráneo continental ( $R = 495$  mm año<sup>-1</sup>) con dos periodos húmedos, en primavera y otoño. La intensidad máxima ( $I_{30}$ ) de las precipitaciones oscila entre 1,1 y 7,4 mm h<sup>-1</sup> en la estación meteorológica de Uncastillo, situada cerca del área de estudio.

Los mapas de los 23 parámetros de entrada, así como los mapas resultantes, de los modelos *ModRMMF* e *IC* se generaron con el programa *ArcGIS10.0*<sup>®</sup> a una resolución espacial de 1 x 1 m de tamaño de píxel, y en los casos necesarios mediante interpolación espacial (Kriging ordinario con tendencia). En un estudio previo López-Vicente et al. (2012) realizaron la cartografía de detalle de la zona de estudio (MDE) así como una campaña de muestreo sobre 613 puntos, que se han utilizado en este trabajo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa de escorrentía superficial, calculado con un algoritmo de flujo múltiple, ha permitido identificar una zona al norte de la parcela, en la que predomina el drenaje laminar (erosión prevista de tipo *interrill*) frente al resto de la parcela en la que predomina el flujo concentrado (erosión predominante de tipo *rill*). La pérdida de suelo promedio, para el conjunto del área de estudio, es de  $1,84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Figura 1a), teniendo lugar el 78% de la pérdida total en sólo cinco meses: marzo, abril, mayo, octubre y noviembre (Figura 1b). El valor anual es ligeramente superior a las  $1,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  estimadas por Verheijen et al. (2009) como la máxima tasa de erosión tolerable para las condiciones prevalentes en los cultivos europeos. Sin embargo, el valor estimado en el área de estudio es menor al cuantificado en otros suelos cultivados del Prepirineo bajo condiciones fisiográficas similares, en donde se han obtenido valores promedio en torno a las  $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Navas et al. 2012).

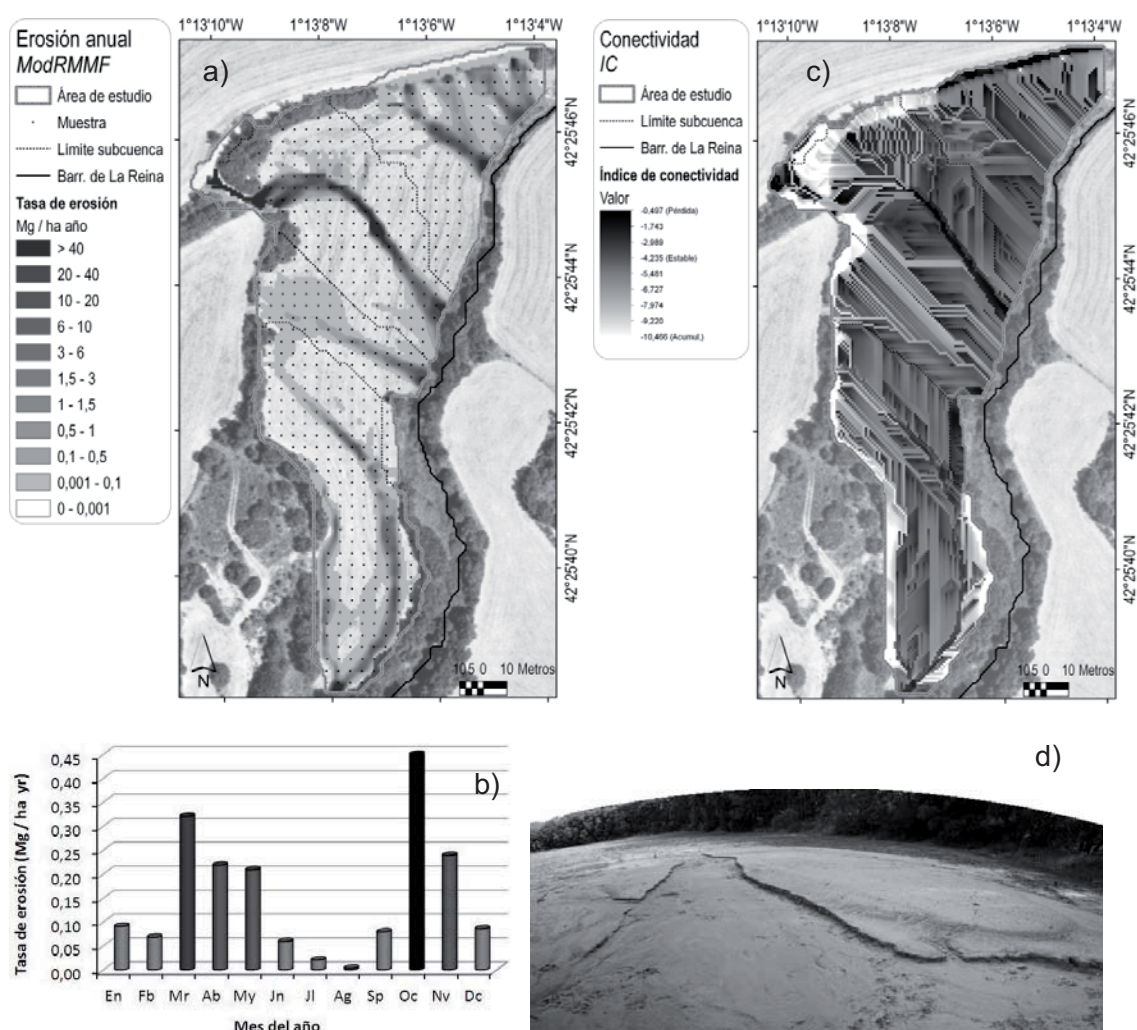


FIGURA 1. Mapa de erosión anual del suelo (a) y tasa promedio de erosión mensual (b). Mapa del índice de conectividad (c) y fotografía de una zona de acumulación neta con desarrollo de un canal de exportación, situado en el extremo sur de la parcela (d).

El mapa de conectividad del sedimento (Figura 1c) muestra un patrón espacial muy similar al del mapa de erosión del suelo anteriormente calculado, en el que además se identifica con mucho detalle la red de drenaje (Figura 1d). El análisis comparativo de los valores de pérdida de suelo y de conectividad en cada punto de muestreo, ha permitido identificar dos

poblaciones en la nube de puntos, que aparecen separadas a partir de un valor de  $IC = -4.2$ . Los valores de conectividad menores a este punto de inflexión corresponden a aquellas zonas en las que predominan los procesos de acumulación frente a los de pérdida neta de suelo, mientras que aquellos valores de  $IC$  mayores corresponden a zonas en las que la pérdida de suelo es el proceso predominante.

## CONCLUSIONES

El uso combinado de un modelo de erosión y otro de conectividad del sedimento, a alta resolución espacial, ha permitido identificar aquellas zonas en las que no sólo aparecen altas tasas de pérdida de suelo, sino aquellas en las que la dinámica de redistribución del suelo es favorable a la pérdida o acumulación netas del suelo removilizado. Por lo tanto, la aplicación conjunta de los modelos *ModRMMF* e *IC* resulta acertada, al añadir valor, el uno sobre el otro, a las predicciones que resultan por separado de cada modelo.

## REFERENCIAS

- Borselli L, Cassi P, Torri D. 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *Catena* 75(3):268-277.
- CE (Comisión Europea). 2012. Comunicado de Prensa. Medio ambiente: La Comisión reclama una respuesta más enérgica a la degradación del suelo. Bruselas, 13.2.2012, IP/12/128
- López-Vicente M, Navas A. 2010. Routing runoff and soil particles in a distributed model with GIS: implications for soil protection in mountain agricultural landscapes. *Land Degradation and Development* 21(2):100-109.
- López-Vicente M, Quijano L, Gaspar L, Machín J, Navas A. 2012. Spatial and temporal heterogeneity of water soil erosion in a Mediterranean rain-fed crop. *Geophysical Research Abstracts* 14:EGU2012-9435.
- Morgan RPC. 2001. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan–Morgan–Finney model. *Catena* 44(4):305-322.
- Morgan RPC, Duzant JH. 2008. Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms* 32:90-106.
- Navas A, López-Vicente M, Gaspar L, Machín J. 2012. Assessing soil redistribution in a complex karst catchment using fallout  $^{137}\text{Cs}$  and GIS. *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.03.018.
- Verheijen FGA, Jones RJA, Rickson RJ, Smith CJ. 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews* 94(1-4):23-38.