

# Cálculo del volumen de sedimentos erosionados en la cuenca vertiente del Jerte

## *Calculation of the volume of eroded sediments in the Jerte watershed*

Yolanda Sánchez, Antonio Miguel Martínez-Graña y Mariano Yenes

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca, España.  
yolanda.ss@usal.es; amgranna@usal.es; myo@usal.es

### ABSTRACT

*Erosion and the production of sediments effect the siltation of reservoirs and create large environmental problems. This work calculates the volume of sediments caused by erosion in a hydrological basin using the Revised Universal Soil Loss Equation 2 (USLE–RUSLE2). In addition these values are contrasted with the Sediment Delivery Ratio (SDR). The methodology is based on the implementation of GIS techniques for the calculation of erosion, resulting in a sediment contribution of 7 Tm /ha/ year, for the study area, Jerte's Valley.*

**Key-words:** USLE/RUSLE2, sediment delivery ratio, GIS.

### RESUMEN

*La erosión y la producción de sedimentos que llegan a los cauces afectan a la calidad y colmatación de embalses generando problemas ambientales. En este trabajo se calcula el volumen de sedimentos erosionados en una cuenca fluvial mediante la ecuación universal de pérdida de suelo revisada 2 (USLE–RUSLE2). Además, estos valores se contrastan con el Índice de entrega de sedimento (SDR). La metodología se basa en la implantación de técnicas SIG para el cálculo de la erosión, dando como resultado para la zona de estudio, el Valle del Jerte, una aportación de sedimentos de 7 Tm/ha/año.*

**Palabras clave:** USLE/RUSLE2, índice entrega sedimentos, SIG.

*Geogaceta*, 64 (2018), 171-174  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 2 de febrero de 2017  
Revisión: 13 de abril de 2018  
Aceptación: 25 de abril de 2018

## Introducción

En España uno de los mayores problemas ambientales es la alta cantidad de sedimentos erosionados en las laderas de los cauces, ya que suponen una pérdida en la calidad del agua por sólidos en suspensión y conlleva la degradación biológica del sistema fluvial. Por ello, en las últimas décadas se han venido realizando estudios para el cálculo de los riesgos de erosión y el aporte de sedimentos en diferentes cuencas y cauces: cuenca del Segura, (Martínez-Graña *et al.*, 2014), río Isuela (Cruchaga, 2013); y con diferentes metodologías para estimar la pérdida de suelo: RUSLE2015 (Panagos, 2015), simuladores de lluvia (León, 2015), SWAT (Roth, 2016).

Por otra parte, no todos los sedimentos que llegan a los cauces y embalses se almacenan en éstos (Bodoque, 2001). Existen medidas preventivas para minimizar estos procesos de colmatación que deben tener

en cuenta la información de la cuenca vertiente, las tasas de erosión de sedimentos, y las zonas productoras de sedimentos (Palau, 2002). Las técnicas SIG (sistemas de información geográfica) permiten calcular fácilmente esta tasa de erosión aplicando USLE–RUSLE2 e integrando gran número de cartografías espaciales (edafológicas, litológicas, etc.). Conocer las zonas con mayor producción de sedimentos facilita y optimiza el efecto de cualquier medida correctora llevada a cabo por los gestores o responsables, mejorando la calidad del medio fluvial.

El objetivo que se persigue en este trabajo es el cálculo del volumen de sedimentos erosionados en el Valle del Jerte, caracterizando los procesos de erosión hídrica y cuantificando los aportes al cauce. Para ello se van a calibrar y validar los métodos e índices de erosión y transporte de sedimentos específicos: USLE–RUSLE2 y el índice de entrega de sedimentos.

## Área de estudio

La zona de estudio se corresponde con la cuenca del río Jerte, tributario del río Tajo. La cuenca del Jerte con una superficie de 376 km<sup>2</sup> y una diferencia de altura de 2065 m, se localiza entre dos áreas montañosas: la Sierra de Tormantos al sureste y la Sierra de Béjar al noroeste.

El clima se caracteriza por presentar una precipitación media de 1000 mm, siendo la mayoría de esta precipitación en forma de lluvia salvo días puntuales que pueda caer en forma de nieve. La aportación media anual del río al embalse es de 324 hm<sup>3</sup>, y la capacidad del embalse es de 59 hm<sup>3</sup> (Fig.1).

El río Jerte sigue el trazado de la falla Alentejo-Plasencia con dirección de fracturación NE-SO.

Su morfoestructura es la típica de fosas y pilares tectónicos en materiales plutónicos. Litológicamente abundan los granitos de dos micas y granitos biotíticos. (Carrasco Gonzalez, 1991).



Figura 1. Área de estudio: Valle del Jerte. Ver figura en color en la web.

Figure 1. Study area: Jerte's valley. See color figure in the web.

La edafología está condicionada por las altas pendientes y el sustrato granítico, lo que hace que dominen las texturas arenosas y los suelos presenten poco desarrollo. El uso del suelo es fundamentalmente agrícola, excepto en zonas de alta pendiente donde hay vegetación arbustiva y arbórea dispersa.

**Metodología**

Para calcular el sedimento erosionado aplicamos los métodos USLE-RUSLE2 y posteriormente se calcula el porcentaje de sedimentos que llega al cauce (Fig 2).

*Cálculo de sedimentos erosionados brutos USLE-RUSLE2:*

El modelo más usado para el cálculo de la erosión es la *Universal Soil Loss Equation* (USLE, Eq. 1) y su versión revisada (RUSLE2), la cual estima para periodos largos la pérdida de suelo media (Constantine M y Ogbu, K. 2015).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{eq.1}$$

donde A: es la pérdida anual de suelo (Tm/ha\*año), R el factor de erosividad de la

lluvia (MJ\*mm/ha\*h\*año), K el factor de erodibilidad del suelo (Tm\*ha\*h/ha\*MJ\*mm), LS, L el factor de longitud de pendiente (m), S el factor de inclinación de pendiente (grados), C el factor de cobertura vegetal (adimensional) y P factor de prácticas de conservación (adimensional).

Para el cálculo de la erosión, se tiene en cuenta la erosividad de la lluvia a partir de las precipitaciones medias de los últimos 20 años. Además, se analiza la erodibilidad del suelo a partir de datos texturales y estructurales de los perfiles edafológicos.

Con el Modelo Digital de Elevaciones -MDE- con resolución espacial de 5 m/píxel se calculó la longitud de la pendiente (L), los diferentes grados de la pendiente (S) y su efecto combinado cuyo valor permite estimar las pérdidas de suelo que se producen en el terreno.

Una vez obtenidos los valores de los factores anteriores, mediante álgebra de mapas se procede a calcular la erosión potencial. Posteriormente se calculó la cobertura vegetal para analizar la influencia que tiene el tipo de especie vegetal y la alternancia de cultivos, puesto que reducirá el volumen erosionado, que se tiene en cuenta a partir de los valores establecidos por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos -U.S.C.S.

Finalmente se descartan las prácticas de conservación de suelos en los usos del territorio, ya que interesa conocer las pérdidas reales teniendo en cuenta los factores naturales.

Mediante el procesado con técnicas GIS se conoce la erosión real que presenta la cuenca vertiente del Jerte (eq.1).

*Índice de entrega de sedimentos de la cuenca vertiente.*

La aportación de sedimentos al embalse varía dependiendo del tamaño de la cuenca: a mayor tamaño, menor cantidad de sedimentos se deposita en el embalse, ya que cuanto mayor es la superficie, mayores son las zonas de sedimentación dentro de

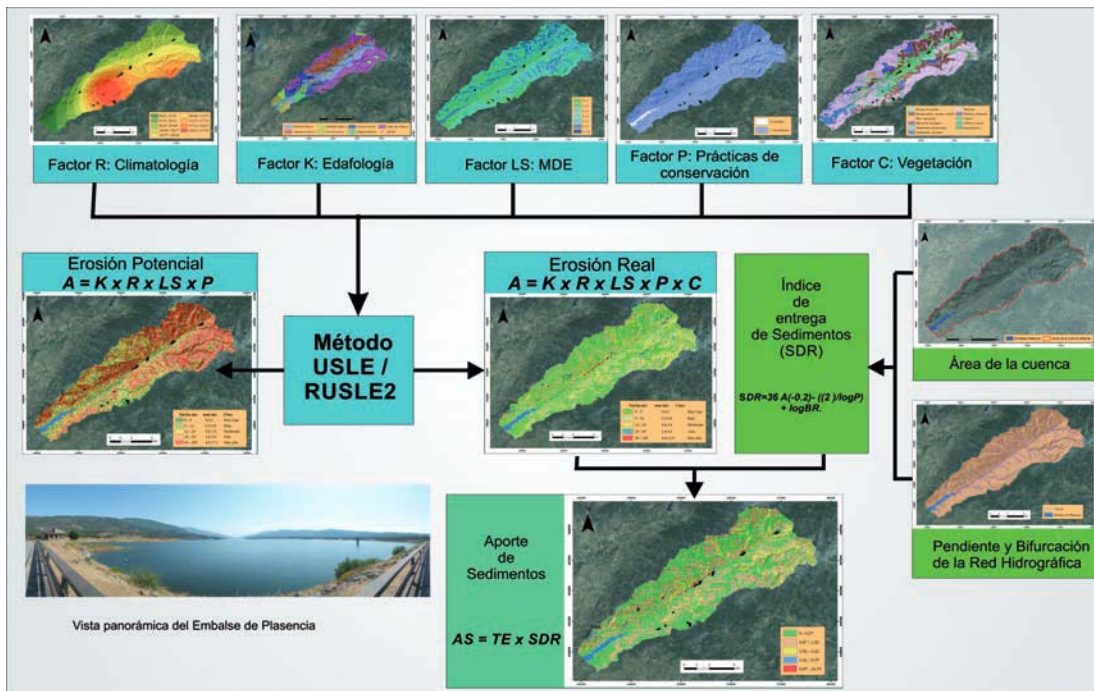


Figura 2. Desarrollo metodológico y cartográfico. Ver figura en color en la web.

Figure 2. Methodological and cartographic development. See color figure in the web.



Vista panorámica del Embalse de Plasencia

esta. También depende de la pendiente del curso fluvial de mayor orden, en este caso el río Jerte, de orden 4, ya que cuanto mayor sea la pendiente mayor será su fuerza de arrastre. Y por último depende de las bifurcaciones de la red de drenaje, a mayor número de bifurcaciones mayor capacidad de transporte.

Para determinar el Índice de entrega de sedimentos (SDR), se ha aplicado la ecuación 2 (Avendaño *et al.*, 1994):

$$SDR = 36 A^{-(0.2)} (2 / \log P) + \log BR \quad \text{eq. 2}$$

donde: SDR = porcentaje total de material movilizado en la cuenca que sale de la misma, A = superficie de la cuenca (m<sup>2</sup>), P = pendiente del curso principal expresada en tanto por uno y BR = coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica.

#### Cálculo del Aporte de Sedimentos

El aporte de sedimentos (AS) al embalse es una proporción del total de sedimentos erosionados brutos en el área fuente (TE), teniendo en cuenta el SDR, para ello se sigue la ecuación 3:

$$AS = TE \cdot SDR \quad \text{eq.3}$$

donde: SDR= índice de entrega de sedimentos, y TE =Volumen de sedimentos erosionados.

## Resultados

Las cartografías realizadas para el cálculo de sedimentos erosionados muestran que el factor R o erosividad varía entre 85,87 - 127,40 MJ\*mm/ha\*h\*año (Fig.3A), el factor K o erodibilidad presenta valores entre 0,02 - 0,38 Tm\*ha\*h/ha\*MJ\*mm (Fig.3B) y el factor LS que representan los parámetros de longitud y declive de las pendientes presentan valores entre 0 y 13 (Fig.3C). Con los valores calculados obtenemos una erosión potencial de pérdida de suelo entre de 0-259 Tm/ha/año (Fig.3E). Gran parte de la cuenca del Jerte presenta riesgo muy alto de erosión, con valores que se encuentran entre las 60 y 259 Tm/ha/año.

Analizando el factor C o la Vegetación se comprueba que los terrenos con mayores valores: 0,352 correspondientes a zonas de matorral y pastizal, y los valores menores: 0,003 se corresponden con suelos de uso

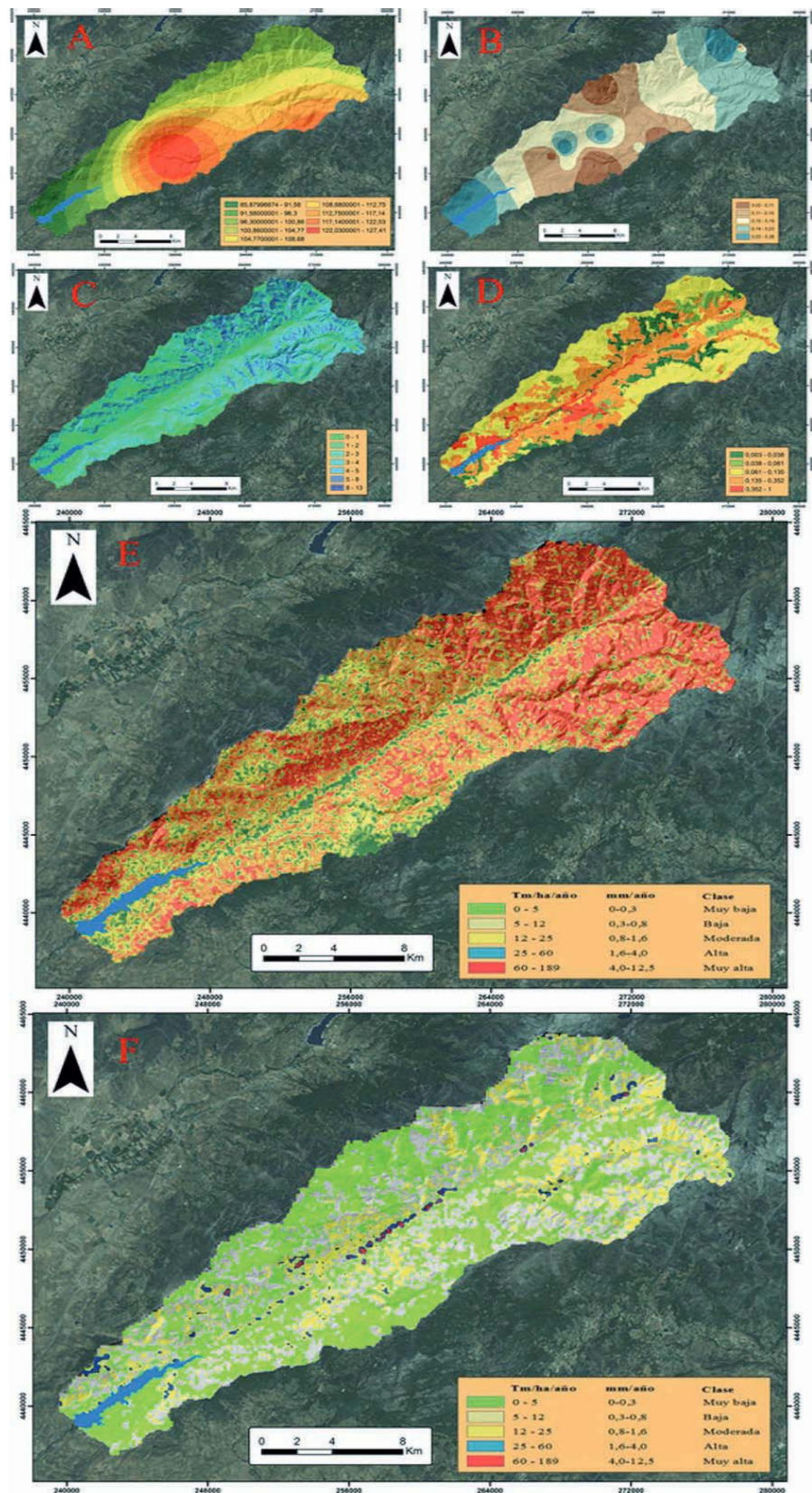


Figura 3. Análisis cartográfico de la USLE-RUSLE2 para la estimación de sedimentos a partir de la erosividad climática: erosividad de la lluvia, (A). Erodibilidad del suelo y sustrato rocoso (B). Longitud y declive de pendientes (C). Factor Vegetación (D). Cartografía de erosión potencial (E) y Cartografía de erosión real (F). Ver figura en color en la web.

Figure 3. Cartographic analysis of the USLE-RUSLE2 for the estimation of sediments from climatic erosivity: rain erosivity, (A). Erodibility of the soil and rocky substrate (B). Slope length and slope (C). Vegetation Factor (D). Potential erosion mapping (E) and Real erosion mapping (F). See color figure in the web.

forestal (Fig.3D). Las prácticas de conservación no se han tenido en cuenta para un análisis más exacto del riesgo erosivo, por lo que el valor asignado a P es de 1. La erosión real teniendo en cuenta la protección de la cubierta vegetal muestra una pérdida de suelo de 0 a 189 Tm/ha/año (Fig.3F) presentando una media de 7,07 Tm/ha/año o 0,47 mm anuales, con predominio de la erosión baja y muy baja.

Teniendo en cuenta la pendiente media del río Jerte, que presenta el un 11% y el cálculo del coeficiente de bifurcación (Strahler, 1965), se obtiene un índice de entrega de sedimentos (SDR) de 13,76%. A partir del SDR y la erosión real de la cuenca, se obtiene el aporte de sedimentos que recibe el cauce de la cuenca vertiente, que es de 0,91 Tm/ha/año.

La tasa de transporte de sedimentos es de 34,554.483,6 kg/año; o lo que es lo mismo, según la densidad aparente del material aportado por la erosión (1,510 kg/m<sup>3</sup>), 22.883.76 m<sup>3</sup>/año, generando una tasa de sedimento anual que va a parar al cauce de 0,024 hm<sup>3</sup>/año.

## Discusión

El desarrollo metodológico muestra una erosión hídrica para la cuenca del río Jerte de 7 Tm/ha/año habiéndose validado estos cálculos con datos recientes de la pérdida de suelo en Europa obtenidos por la European Environment Information and Observation Network (EIONET) aplicando el modelo RUSLE2 (Panagos, 2015). Pero el aporte de sedimentos al embalse varía dependiendo de si se aplica el SDR o no. Si no tenemos en cuenta el SDR, es decir, si se asume que todos los sedimentos generados por la erosión hídrica en la cuenca, va a parar a los cursos fluviales y posteriormente al embalse, la tasa de transporte de sedimentos es de 707 Tm/km<sup>2</sup>/año.

Si en cambio, tenemos en cuenta el SDR, la tasa de transporte de sedimentos es 91 T/km<sup>2</sup>/año. Algunos estudios validan los resultados obtenidos en la cuenca del Jerte mediante este modelo, al correlacionarse los valores de aterramiento de la zona de estudio con

los obtenidos en cuencas de fisiografía similar en la misma Cuenca Hidrográfica del Tajo (Cobo, 2008), así como en la cuantificación realizada en embalses que han desa-

rollado un dragado total del sedimento acumulado (Bodoque, 2001).

La metodología más precisa, después de analizar lo anteriormente expuesto, es la USLE-RUSLE2 aplicando el índice de entrega de sedimentos, esto podría justificarse por la estructura del sistema parcelario con presencia de bancales y aterrazamientos y la existencia en la cuenca de una abundante vegetación causante de frenar la esorrentía y los aportes sólidos al cauce.

## Conclusiones

La precisión de un modelo de cuenca lleva implícita una heterogeneidad que necesita ser calibrada con los parámetros de dicho modelo. Una vez calibrado, es necesario realizar una validación para establecer el grado de fiabilidad y los rangos de utilización del mismo.

Contar con modelos predictivos, lo más precisos posibles, genera grandes beneficios para la gestión de los recursos hídricos, patrimoniales, edafológicos, etc. Además, es una herramienta primordial en la prevención de riesgos; en especial riesgos colaterales como roturas de presa, inundaciones, y otros eventos catastróficos. La propia cartografía generada en el modelo, es una medida no estructural tremendamente útil en la planificación de los recursos para los ayuntamientos, las confederaciones hidrográficas y otros organismos implicados en la ordenación del territorio.

Aunque no existen soluciones definitivas para los procesos de retención en ladera y disminución de aporte sedimentario a cauces es conveniente la implantación de medidas preventivas o correctoras que minimicen el proceso.

Es preciso establecer medidas que prevean tasas de colmatación superiores a las previstas en el modelo predictivo e implementar un plan de mantenimiento y vigilancia para el control del aterramiento. Dicho plan de control y seguimiento continuo de la evolución de los sedimentos en el embalse permite comprender mejor la dinámica sedimentaria de la cuenca de estudio y proyectar los modelos sobre una base empírica que permita realizar previsiones más precisas sobre la tasa de colmatación ya que puede variar, porque la erosión aumenta por causas antropogénicas, como in-

condios o abandono de los cultivos y por tanto desaparezcan los bancales, o se alargue el periodo por que se implantes medidas preventivas.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer la financiación y las facilidades aportadas para la realización del artículo de los proyectos CGL2015-67169-P, CGL2015-69919-R (MINECO-FEDER) y JcYL SA044G18. También quieren agradecer los comentarios y aportaciones realizadas por los revisores, cuyo resultado ha mejorado notablemente el artículo.

## Referencias:

- Avendaño, C., Calvo, J. P., Cobo, R. y Sanz, M.E. (1994) *La modelización matemática, ajuste y contraste del Sediment delivery ratio a los embalses. Aplicación al cálculo de la erosión de cuencas fluviales*, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Madrid.40 p
- Bodoque, J.M., Pedraza, J., Martín-Duque, J.F., Sanz, M.A., Carrasco, R.M., Díez, A. y Mattered, M. (2001). *Cuaternario y Geomorfología*15, 21-36.
- Carrasco González, R.M. (1991) *Geomorfología del Valle del Jerte. Las líneas maestras del paisaje*. Universidad de Extremadura, Salamanca. 246 p
- Cobo, R. (2008) *Revista Ingeniería del Agua* 15, 231-250.
- Constantine, M. y Ogbu, K. (2015) *International Journal of Remote Sensing & Geoscience* 4, 7-17.
- Cruchaga, P. (2013) *Lucas Mallada. Revista de Ciencias* 15,67-84.
- León, J. Badía, D. y Echevarría, M.T. (2015) *Cuaderno de Investigación Geográfica*. 41, 165-180.
- Martínez-Graña, A.M., Goy, J.L. y Zazo, C. (2014). *International Journal of Environmental Research* 8,61-68.
- Palau, A. (2002). *En I congreso de Ingeniería civil, territorio y Medio Ambiente*. Comunicaciones 1, 847-856.
- Panagos, P., Borrelli, P. y Ballabio, C. (2015) *Environmental Science & Policy* 54, 438-447.
- Roth, V. Kassawmar Nigussie, T. y Lemann, T. (2016). *Environmental Earth Sciences* 75, 1321, 1-13.
- Strahler, A.N. (1965) *Introduction to Physical Geography*. Wiley, 455pp.