

APLICACIÓN DEL MODELO SWAT A UNA CUENCA ACARCAVADA DEL PIRINEO

Application of the SWAT model to a badland catchment of the Pyrenees.

Autores: L. Palazón (1), A. Navas (1)

(1) Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) (Zaragoza, España). Correo de contacto: lpalazon@eead.csic.es.

Abstract: Computer models that simulate and quantify geomorphologic processes at different spatial and temporal scales had been developing over recent decades. The use of these models provides information that by the instrumental manner would be too expensive to obtain. For this study the international used model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used. Characteristics of the model allow the evaluation of different processes, such as the production and export of sediments in river catchment. The simulated scenarios are constructed through a Geographic Information System. The model discriminates homogeneous units with unique characteristics of substrate, land cover and slope. From these units the model calculates the sediment mobility. In this study the sediment yield produced by a catchment composed mainly by Eocene marls located in the Central Spanish Pyrenees was assessed. Because the nature erodible of the marls the catchment is highly degraded with significant sediment yield and export to the Barasona reservoir.

Palabras clave: geomorfología, erosión, cárcavas, SIG, modelo SWAT.

Key words: geomorphology, erosion, badlands, GIS, SWAT model

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos informáticos que simulan y cuantifican procesos geomorfológicos para la evaluación a diferentes escalas espaciales y temporales han ido evolucionando a lo largo de las últimas décadas. Aquellos que desarrollan diferentes procesos interrelacionados aportan una imagen general de lo que ocurre a escala de cuenca. La utilización de estos modelos suministra información que de modo instrumental sería muy costosa de conseguir. La investigación de los procesos geomorfológicos, así como la identificación y el estudio de las zonas de alto riesgo de erosión son importantes para la definición de estrategias de remediación pudiendo localizarlas en las zonas que lo necesiten.

Dentro de los modelos disponibles actualmente a escala de cuenca, el modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) es ampliamente utilizado. Gracias a las continuas mejoras realizadas durante los últimos 30 años, ha ganado aceptación internacional como una herramienta de

evaluación interdisciplinar adecuada para cuencas de diferentes escalas bajo un amplio rango de configuraciones biofísicas y climáticas. Una amplia revisión bibliográfica de las diferentes aplicaciones del modelo se puede encontrar en https://www.card.iastate.edu/swat_articles/ y Gassman et al. (2007).

En este estudio se ha aplicado el modelo SWAT en el Pirineo Central Español, para el estudio de la exportación de sedimentos producida por una cuenca compuesta mayoritariamente por margas Eocenas. Las características del modelo permiten la evaluación de diferentes procesos a escala de cuenca, tales como la producción y la exportación de sedimentos. Por los materiales que la componen, la cuenca presenta una elevada degradación con una movilidad importante de sedimentos y un importante desarrollo de sistemas de cárcavas.

El objetivo del trabajo es aplicar el modelo SWAT a una cuenca pirenaica acarcavada para evaluar la cantidad de sedimentos que produce y la funcionalidad de este modelo para cuencas de cárcavas similares. Los

resultados obtenidos con el modelo han sido comparados con otros estudios realizados en la zona para valorar su funcionalidad.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Área de estudio

El modelo se ha aplicado a la cuenca de Villacarli, Pirineo Central Español. Ésta forma parte de la cuenca de drenaje del río Isábena (Fig. 1), que junto a la del río Ésera, constituyen la cuenca de drenaje del embalse de Barasona. Este embalse experimenta graves problemas de aterramiento desde su construcción en 1932 (Valero-Garcés et al., 1999; Navas et al., 2009).

La cuenca de Villacarli comprende una superficie de 43 km² (10% de la cuenca del río Isábena). El rango de altitudes de la cuenca oscila entre los 804 m s.n.m. en su desembocadura en el río Isábena y los 2365 m s.n.m. en su parte norte, donde se sitúa el Macizo del Turbón. Geológicamente, la cuenca se desarrolla en la unidad morfoestructural pirenaica de la Depresión Intermedia. La unidad está compuesta mayoritariamente por margas del Cretácico

medio en las que se desarrollan los sistemas de cárcavas (Fig. 2) y constituyen la mayor fuente de sedimentos que transporta el río Isábena hacia el embalse de Barasona (Alatorre et al., 2011).

El clima es de montaña, húmedo y frío, con influencias atlánticas y mediterráneas continentales (García-Ruiz et al., 1985). Las lluvias se desarrollan mayoritariamente en otoño y verano, siendo estas últimas normalmente de carácter torrencial.

Los suelos de la zona son en general, alcalinos, de poco desarrollo y con contenidos de materia orgánica bajos (excepto los desarrollados en bosques >3%). Hidráulicamente, son suelos bien drenados con capacidades de retención de agua limitadas.

Las cubiertas vegetales predominantes en la cuenca son el bosque (35%), el matorral (26%) y las praderas naturales (24%). Del resto, un 6% de la cuenca son afloramientos rocosos y solo un 4% corresponde a cárcavas o badlands.

Los procesos geomorfológicos más activos en la zona son los movimientos en masa y la erosión hídrica en las laderas y las cárcavas.

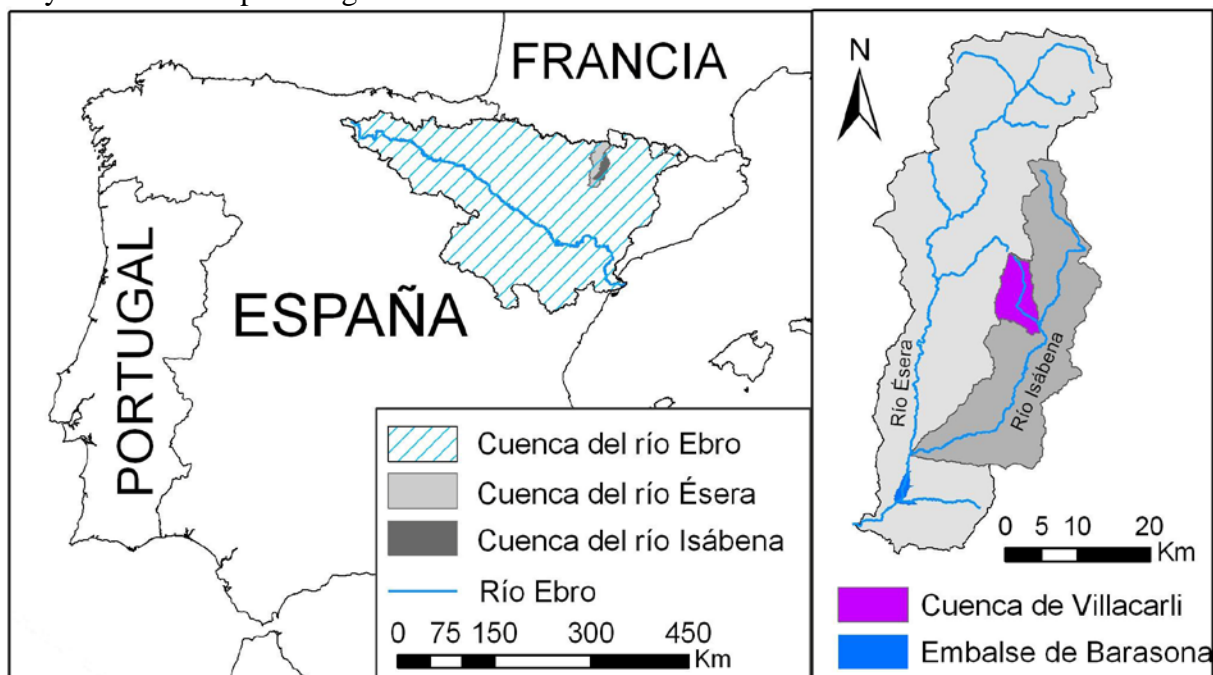


Fig. 1. Localización de la cuenca dentro de la cuenca del río Ebro y de la cuenca del río Isábena.



Fig. 2. Cárcavas de la cuenca de Villacarli.

2.2. El modelo SWAT

El *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) es un modelo semi-distribuido de base física, para la simulación en tiempo continuo y a largo plazo, diseñado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la hidrología y el transporte de sedimentos y contaminantes en cuencas agrícolas, con condiciones variables de suelos y usos del suelo (Arnold et al., 1998). En este estudio se ha aplicado la última versión del modelo (SWAT2009; Versión 93.6) acoplado como una extensión (ArcSWAT, Olivera, 2006) a un Sistema de Información Geográfica (SIG) que facilita la introducción de las capas de información en el modelo y su posterior calibración.

La producción y movilización de los sedimentos en SWAT es calculada mediante la ecuación universal de pérdida de suelo modificada (MUSLE; Williams 1995), que es función de la cantidad y volumen de escorrentía superficial, así como otros factores físicos relacionados con las características de la superficie, como el uso del suelo, la pendiente y la erodibilidad.

2.3. Aplicación del modelo

La información espacialmente distribuida esencial requerida por SWAT son datos de entrada que describen el clima, las propiedades del suelo, la topografía, la vegetación y las prácticas de manejo. La recopilación de toda esta información supuso un laborioso trabajo de documentación, adaptación y producción de datos.

SWAT se ha aplicado para un periodo de 2 años (2006-2008) a partir de un escenario

fluvialmente calibrado para la cuenca del río Isábena.

3. RESULTADOS

La producción específica promedio de la cuenca de Villacarli simulada por SWAT para su desembocadura en el Isábena es de 2637 t km⁻². Para esta misma cuenca, López-Tarazón et al. (2012) estiman una producción específica de 2427 t km⁻² mediante la interpolación de medidas directas de la concentración de los sedimentos en suspensión en diferentes puntos de la cuenca del río Isábena.

Dentro de las unidades superficiales diferenciadas, más del 80% de la producción de sedimentos simulada con SWAT (Tabla 1) provienen de los sistemas de cárcavas. La producción específica simulada de los sistemas de cárcavas supera las 800 t ha⁻¹. Alatorre et al. (2010) obtienen mediante la aplicación del modelo WATEM/SEDEM una producción específica de 337 t ha⁻¹ para los sistemas de cárcavas de la cuenca del embalse de Barasona. En un sistema de cárcavas de una pequeña cuenca (Vallcebre, Pirineo Oriental), Regüés et al. (2000) estiman una producción específica de 600 t ha⁻¹ a partir de la medida de su producción absoluta.

Tabla 1. Producción específica de sedimentos de las unidades superficiales.

Unidades	Producción t ha ⁻¹	Porcentaje %
Cultivos	8.63	0.89
Afloramiento rocoso	0.56	0.06
Cárcavas	842.46	84.42
Cauce	125.81	13.56
Bosque	4.80	0.52
Matorral	3.01	0.32
Pastos	2.14	0.23

Estacionalmente las mayores producciones de la cuenca de Villacarli se localizan en primavera y otoño correspondiendo con las épocas de lluvia. La exportación máxima mensual alcanza 82920 t ó 1974 t km⁻² en abril de 2007. Las exportaciones mensuales menores (<10 t) se estimaron en el verano

de 2007, que corresponde con el periodo más seco del periodo de simulación.

4. CONCLUSIONES

La producción de sedimentos en la cuenca de Villacarli presenta una gran variabilidad espacial y temporal. La variabilidad espacial se ve condicionada por la distribución de las unidades superficiales potencialmente productoras de sedimentos y la temporal por la disponibilidad de agua que se mueve por estas unidades.

Dentro de las unidades evaluadas, las principales productoras de sedimentos disponibles para su transporte son las cárcavas y el cauce principal. Según estos resultados las zonas de cárcavas constituyen la fuente mayoritaria de sedimentos dentro de la cuenca de Villacarli y, consecuentemente, del río Isábena. La elevada producción del cauce se origina por la gran disponibilidad de sedimentos acumulados en ellos.

La precisión del modelo está afectada por la resolución de las capas de información disponibles introducidas en este. En función del grado de resolución se puede producir sobre o sub- estimación de la producción de las diferentes unidades superficiales.

La aplicación del modelo SWAT en la cuenca de Villacarli, con un considerable desarrollo de sistemas de cárcavas, produce unos datos de exportación de sedimentos dentro de los rangos esperados. Estos resultados apoyan la aplicabilidad del modelo como herramienta de evaluación de la producción y exportación de sedimentos en cuencas pirenaicas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto EROMED (CGL2011-25486).

REFERENCIAS

Alatorre, J.C., Beguería, S. y García-Ruiz, J.M. 2011. Regional scale modeling of hillslope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using

WATEM/SEDEM. *Journal of Hydrology* 391, 109-123.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. y Williams, J.R., 1998. Large Area Hydrologic Modelling and Assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.

García-Ruiz, J.M., Puigdefábregas, J., y Creus, J. 1985. *Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón* Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, 224 pp.

Gassman, P.W., Reyes M.R., Green C.H., y Arnold J.G. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development and Future Research Directions. *Transactions of the ASABE*. 50(4),1211-1250.

López-Tarazón, J.A., Batalla, R.J., Vericat, D. y Francke, T. 2012. The sediment budget of a highly dynamic mesoscale catchment: The River Isábena. *Geomorphology* 138, 15-28

Navas, A., Valero-Garcés, B.L, Gaspar, L. y Machín, J. 2009. Reconstructing the history of sediment accumulation in the Yesa reservoir: an approach for management of mountain reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, 25(1), 5-27.

Olivera, F., Valenzuela, M., Srinivasan, R., Choi, J., Cho, H., Koka, S. y Agrawal, A. 2006. ArcGIS-SWAT: A geodata model and GIS interface for SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(2), 295-309.

Regués, D., Balasch, J., Castellort, X., Soler, M. y Gallart, F. 2000. Relación entre las tendencias temporales de producción y transporte de sedimentos y las condiciones climáticas en una pequeña cuenca de montaña mediterránea (Vallcebre, Eastern Pyrenees). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 26, 24-41.

SWAT (Soil and Water Assessment Tool): SWAT model software. U.S. Department of Agriculture-Agricultural Research Service, Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Temple, Texas. <http://swatmodel.tamu.edu/software/swat-model/>

Valero-Garcés, B.L., Navas, A., Machín, J. y Walling, D. 1999. Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology* 28, 23-41.

Williams, J.R. 1995. Chapter 25: The EPIC model. En: Computer models of watershed hydrology. (Eds.) *Water Resources Publications*, Colorado, 909-1000.