



## Evolución de la erosión hídrica en la parte media y alta de la cuenca del río Corneja (Ávila, España)

**Autor:** Oscar Hernández Rodríguez

**Institución:** Universidad Católica de Ávila

**Otros autores:** Jorge Mongil Manso (Universidad Católica de Ávila); Virginia Díaz Gutiérrez (Universidad Católica de Ávila); Joaquín Navarro Hevia (Universidad de Valladolid)

## Resumen

La actividad humana es la principal causa de las transformaciones de la cubierta vegetal. Un aprovechamiento excesivo e irracional de los terrenos forestales puede dejar el suelo desnudo y favorecer su erosión. Cuando esta erosión es producida por el agua, se denomina erosión hídrica, y puede suponer en algunos casos un problema de graves consecuencias.

Un ejemplo de ello es la cuenca media-alta del río Corneja (Ávila), que hasta el siglo XIX estuvo en buena medida cubierta por bosques de roble y encina. Diversos factores como una explotación desmesurada del bosque, sobrepastoreo, incendios forestales o ampliación de las tierras de cultivo provocaron su degradación y la pérdida de vegetación arbórea, favoreciendo con ello una importante erosión laminar, en regueros, en cárcavas y en cauces, fundamentalmente. Debido a la magnitud del problema, en 1964 la Confederación Hidrográfica del Duero decidió llevar a cabo una de las restauraciones hidrológico-forestales más importantes de Castilla y León.

Todo ello ha dado lugar a una variación del estado erosivo de la cuenca objeto de estudio. A través de los modelos USLE, RUSLE y MUSLE junto con la utilización de diversas técnicas de sistemas de información geográfica (SIG), se han caracterizado y comparado los estados erosivos entre los años 1957 y 2013, identificando las zonas que poseen una erosión activa y valorando la eficacia de las medidas emprendidas para el control de la erosión.

**Palabras clave:** USLE; RUSLE; MUSLE; sistemas de información geográfica; pérdida de suelo

## INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es considerada como uno de los riesgos más críticos de la actualidad debido a sus consecuencias ambientales y económicas (Bahadur, 2009). Se trata de un proceso complejo en el que interactúan varios factores los cuales pueden sufrir cambios en el espacio y en el tiempo (Perovic *et al.*, 2013), alterando las propiedades del suelo, modificando su estructura, su capacidad de retención de agua, su infiltración, la escorrentía y variando consecuentemente su contenido en materia orgánica, nitrógeno y/o fosforo. La cubierta vegetal y los sistemas radiculares asociados contrarrestan la erosión del suelo (Gyssels *et al.*, 2005), pudiendo ser recreados mediante acciones de restauración y creando sinergias entre los numerosos servicios de los ecosistemas (Bennett *et al.*, 2009).

Países de todo el mundo han realizado estudios erosivos utilizando multitud de metodologías, comparando en una misma zona el estado erosivo entre determinados periodos, y/o haciendo comparaciones con diferentes métodos. Ejemplo de ello son las investigaciones llevadas a cabo en la India (Kukul *et al.*, 2007; Pandey *et al.*, 2009), China (Li Hui *et al.*, 2010), Tailandia (Bahadur, 2009), Brasil (Marques *et al.*, 2012), Turquía (Cambazoglu & Gogus, 2004) o España (Trabucchi *et al.*, 2012).

Las laderas de la cuenca alta del río Corneja (Ávila, España) estuvieron cubiertas por bosques densos de encina y roble hasta hace unos ciento cincuenta años. Pero su gestión tradicional tuvo como resultado su destrucción prácticamente completa, debido a aprovechamientos irracionales de leña y madera, roturaciones, sobrepastoreo e incendios, fundamentalmente (Mongil *et al.*, 2012). Dada la magnitud del problema, y para evitar la llegada masiva de sedimentos al embalse de Santa Teresa, la Confederación Hidrográfica del Duero lleva a cabo una restauración hidrológico-forestal, dividida en seis fases entre 1964 y 1970, considerándose como una de las más importantes de Castilla y León. Estas circunstancias hacen, previsiblemente, que la cuenca del río Corneja sea una zona en la que, debido a los cambios del uso del suelo, la vegetación asociada y las acciones de restauración, existan variaciones del estado erosivo de la misma entre diferentes épocas.

En este trabajo se pretende caracterizar y comparar el estado erosivo en 1957 y en 2013, determinando las zonas que presentan mayores pérdidas de suelo y evaluando las actuaciones llevadas a cabo para el control de la erosión.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La cuenca media-alta del río Corneja tiene una superficie de 258,26 km<sup>2</sup> y se localiza al suroeste de la provincia de Ávila (España) (Figura 1). La región presenta un clima mediterráneo continental con una temperatura media anual de 10,8 °C y una precipitación media anual de 832,40 mm (con una mayor constancia entre octubre y marzo). La altitud varía de 970 a 2.294 m sobre el nivel del mar y, en general, disminuye de este a oeste. Alrededor del 50 % de la cuenca se encuentra por debajo de los 1.270 m. Un análisis previo de todo el terreno permitió su caracterización (Tabla 1).



Figura 1. Localización de la cuenca del río Corneja (Ávila, España)

Tabla 1. Características de la cuenca del río Corneja (Ávila, España)

<b>Forma</b>	Superficie (km <sup>2</sup> )	258,26
	Índice de compacidad de Gravelius	1,37
	Factor de forma Horton	0,44
<b>Relieve</b>	Altitud media (m)	1.311,8
	Desnivel (m)	1.324
	Pendiente media (%)	19,67
<b>Red hidrográfica</b>	Longitud del cauce (km)	25,30
	Pendiente media del cauce (%)	2,75
	Densidad de drenaje (m <sup>-1</sup> )	1,18
	Tiempo de concentración (min)	415

La metodología empleada está basada en la combinación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con los modelos de estimación de pérdidas de suelo USLE, RUSLE y la emisión de sedimentos mediante la MUSLE. Rodríguez *et al.*, (2004) señalan que esta combinación es la mejor forma de aprovechamiento y exactitud en la estimación de estas magnitudes. Perovicí *et al.*, (2013) apuntan que la ventaja de esta interfaz está en la facilidad de actualización y elaboración de datos referenciados espacialmente y la posibilidad de presentar los resultados de los mapas en diferentes formas.

Mediante ArcGIS 9.3 se ha sincretizado el terreno en tamaños homogéneos, utilizando un tamaño de píxel de 21,5 m x 21,5 m, y se han originado capas independientes para cada parámetro (Figura 2). La capa del factor topográfico es la única que difiere entre el método USLE y el método RUSLE. Por otro lado, la capa de la cubierta vegetal provoca la diferencia entre las pérdidas de suelo de 1957 y 2013. En la metodología MUSLE se han tomado los valores medios de los parámetros de la USLE. Finalmente, para la estimación del estado erosivo de la cuenca vertiente, se entrecruzan las capas.

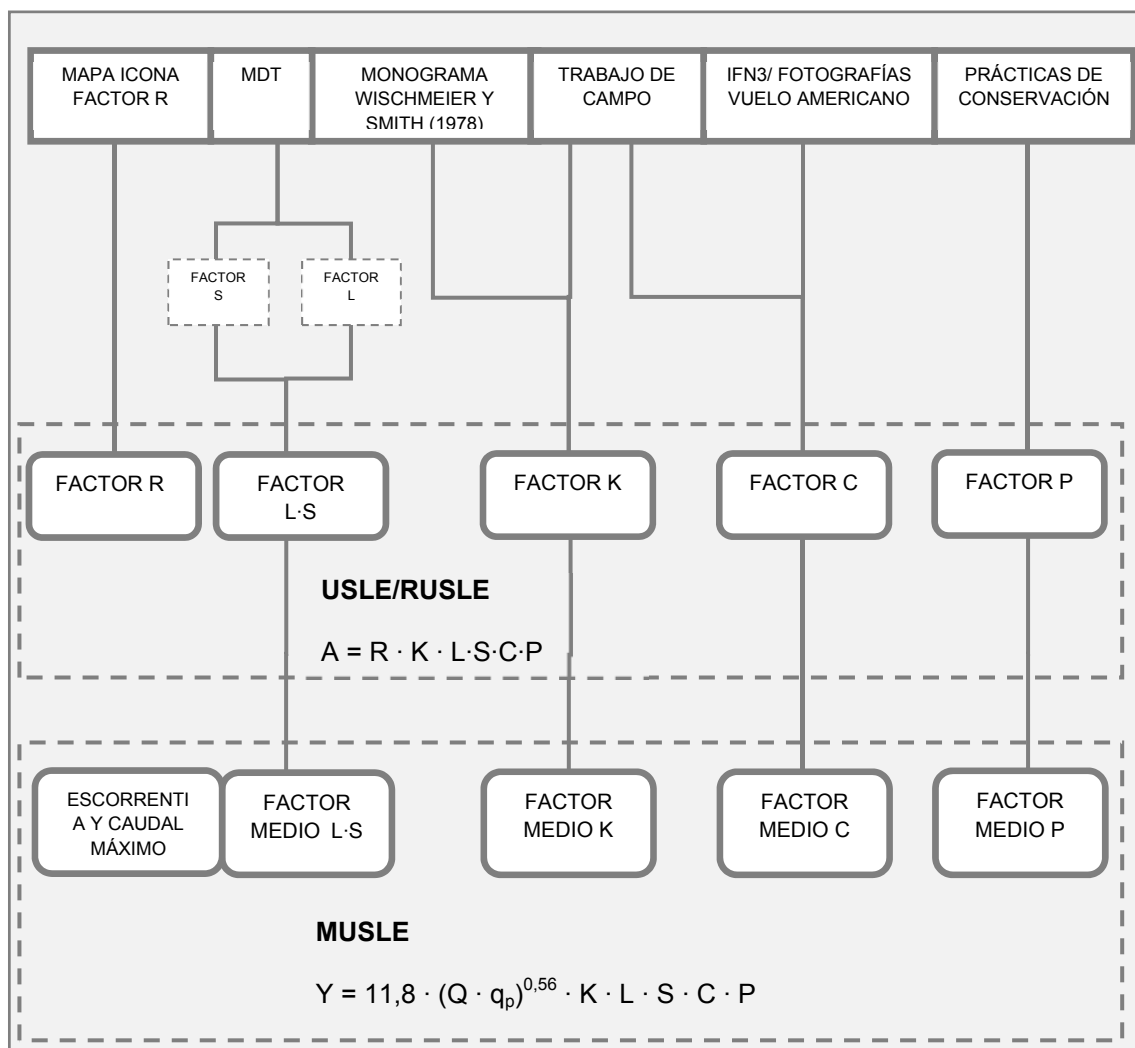


Figura 2. Esquema de la metodología utilizada

La clasificación utilizada para el análisis de las pérdidas de suelo es una clasificación específicamente desarrollada para este trabajo, y se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las pérdidas de suelos utilizada en este trabajo

Clase de erosión	Pérdida de suelo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ )
Muy baja	0 – 10
Baja	10 – 20
Moderada	20 – 50
Alta	50 – 80
Muy alta	80 – 120
Extrema	> 120

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Índice de erosión pluvial o Factor de erosividad de la lluvia (R)

Los valores del factor R se muestran en la Tabla 3 y se han calculado a partir de la cartografía del valor R del ICONA (1988). Interpolando en el mapa de isolíneas de R de España se ha obtenido valores de R entre 75 y 150  $\text{hJ}\cdot\text{cm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Tabla 3. Valores para el factor R en la zona de estudio

R ( $\text{hJ}\cdot\text{cm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )	Área ( $\text{km}^2$ )	Área (%)
85 - 90	3,64	1,40
90 - 95	9,99	3,87
95 - 100	21,05	8,15
100 - 105	26,68	10,33
105 - 110	31,68	12,26
110 - 115	34,24	13,25
115 - 120	35,87	13,88
120 - 125	30,96	11,98
125 - 130	18,25	7,06
130 - 135	18,16	7,03
135 - 140	14,84	5,75
140 - 145	8,73	3,38
145 - 150	4,28	1,66

### Factor erosionabilidad del suelo (K)

El factor K se ha calculado a través del nomograma que incluye el manual de Wischmeier & Smith (1978). En la Tabla 4 se muestran los resultados de los análisis de suelos presentes en la cuenca. Para la determinación de la materia orgánica se ha utilizado el método de Walkey-Black y para la textura se ha aplicado el método densimétrico de Bouyoucos.

Tabla 4. Valores del factor K para cada tipo de suelo que se localiza en la zona de estudio

Nombre asociación (FAO)	Arena (%)	MO (%)	Estructura	K
(CMg) + (CMu)	70,00 (0,00)	3,94 (4,27)	Media	0,46
(CMx) + (LVx)	73,33 (5,77)	6,21 (3,25)	Media	0,37
(LVh) + (LVg)	63,33 (12,58)	1,84 (0,92)	Media	0,52
(LPq) + (CMu)	75,00 (7,07)	2,11 (0,28)	Media	0,48
(FLc) +(FLe) / (FLd) + (FLe)	70,00 (0,00)	2,86 (1,54)	Media	0,47
(LPq) + Roca desnuda	70,00 (5,00)	2,27 (2,22)	Media	0,53
(ARb) + (GLE)	73,33 (5,77)	1,60 (1,02)	Media	0,50
(LPu) + (GLu)	75,00 (8,66)	1,87 (0,48)	Media	0,51
(LPu) + (LPq)	87,50 (2,50)	3,82 (1,93)	Media	0,40
(CMd) + (RGd)	69,50 (0,71)	2,37 (1,94)	Media	0,51
(CMu) + (CMd)	72,50 (3,54)	1,90 (1,26)	Media	0,49
(CMu) + (CMg)	80,33 (10,50)	0,82 (0,12)	Media	0,54

MO: Materia orgánica; CMg: Cambisol gleíco; CMu: Cambisol húmico; CMx: Cambisol crómico; LVx: Luvisol crómico; LVh: Luvisol háplico; LVg: Luvisol gleíco; LPq: Leptosol lítico; FLc: Fluvisol calcárico; FLe: Fluvisol eútrico; FLd: Fluvisol dístrico; ARb: Arenosol cámbico; GLe: Gleysol eútrico; LPu: Leptosol úmbrico; GLu: Gleysol úmbrico; CMd: Cambisol dístrico; RGd: Regosol dístrico; CMd: Cambisol dístrico. Las cifras entre paréntesis son las desviaciones típicas.

### Factor topográfico (L·S)

Para el factor L·S se ha considerado una longitud de ladera igual a la longitud del píxel de la capa ráster (21,50 m) de tal manera que la longitud de ladera será inferior a 350 m y mayor a 5 m en USLE y RUSLE, respectivamente. Se toman las ecuaciones correspondientes para cada método expuestas en la Tabla 5.

Tabla 5. Ecuaciones correspondientes a USLE y RUSLE para la obtención del factor topográfico

	Longitud de ladera (m)	Pendiente de ladera (%)	Fórmula
USLE	< 350	≤ 20	—
	< 350	> 20	— —
	Longitud de ladera (m)	Pendiente de ladera (%)	Fórmula
RUSLE	> 5	< 9	—
	> 5	> 9	—

$\lambda$ : longitud de la ladera en m;  $\theta$ : pendiente de la ladera en grados; m: coeficiente que varía con la pendiente y con la relación existente entre la erosión en regueros y entre regueros.

### Factor de cubierta vegetal (C)

Este parámetro es de gran importancia ya que marca la diferencia del estado erosivo entre 1957 y 2013. Han sido necesarias las tablas de Wischmeier & Smith (1978), la tabla de aproximación propuesta por ICONA (1982), la información disponible en el IFN3 (Tercer Inventario Forestal Nacional), el mapa de vegetación de Castilla y León y un estudio de campo empleando parcelas circulares de 15 m de radio. Para la RUSLE se han empleado los mismos valores del factor C que para la USLE.

El comportamiento de la vegetación ante la erosión varía en función del tipo de formación vegetal, no de la especie. Utilizando las fotografías aéreas más recientes y las correspondientes al vuelo americano de 1957, se ha reclasificado la vegetación en función del tipo de masa existente (Tabla 6).

Tabla 6. Reclasificación de la vegetación de 1957 y 2013 según el tipo de formación vegetal

Tipo de formación vegetal	2013	1957
	Área (%)	Área (%)
Bosque	1,03	0,54
Arbolado (>4 m)	23,93	12,12
Matorral (2 m)	36,61	32,73
Plantas herbáceas y matorjos (0,5 m)	8,95	20,57
Cultivos	28,70	30,90
Inexistente	0,78	0,38
Inapreciable	---	2,76



La determinación final del factor C para cada tipo de formación vegetal (Tabla 7) se ha realizado en función de esta reclasificación. Los valores obtenidos se han adaptado mediante la media ponderada tomando como peso de importancia, en cada tipo, la proporción del tipo de vegetación por el que está compuesto. Para el tipo “inapreciable” se ha tenido en cuenta que no existían restos vegetales descompuestos y que la cubierta en contacto con el suelo alcanzaba un 5 %, obteniendo un valor de 0,398 para este factor.

Tabla 7. Valores para el factor C en función del tipo de formación vegetal

Tipo de formación vegetal	C
Bosques	0,007
Arbolado	0,076
Matorral	0,08
Herbazal	0,25
Cultivos	0,25

### Factor prácticas de conservación del suelo (P)

Para este factor se toma el valor de 1 de forma constante en toda la cuenca. Aunque existan algunos terrenos aterrizados se desconoce su efectividad en lo que al control de erosión se refiere.

### Volumen de escorrentía (Q) y caudal instantáneo máximo (Q<sub>p</sub>)

Estos parámetros son estimados en función de la situación más desfavorable que se puede dar, siendo esta la precipitación máxima con una duración igual al tiempo de concentración en un periodo de retorno determinado.

Tabla 8. Volumen de escorrentía y caudal instantáneo máximo para cada periodo de retorno

Periodo de retorno (años)	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Es = Q (mm·m <sup>-2</sup> )	Es = Q (m <sup>3</sup> )
2	116,36	7,55	1.950.009,12
5	305,07	20,03	5.175.577,55
10	363,34	24,60	6.356.160,57
25	547,06	36,85	9.519.813,85
50	701,88	47,27	12.213.125,60
100	911,50	59,84	15.459.734,79
200	1.122,73	73,11	18.888.505,20
500	1.400,80	91,86	23.731.459,90

Q<sub>p</sub>: caudal instantáneo máximo; Es: volumen de escorrentía.

### Pérdidas de suelo y emisión de sedimentos

Con la metodología USLE se deduce que en 1957 el 51,57 % de la superficie se encontraba con erosión moderada, localizada mayoritariamente en la parte este de la cuenca. Por debajo de este nivel se encuentra el 34,79 % de la superficie. En las zonas con pendientes entorno al 25 % se dan erosiones de tipo alto siendo los estados erosivos extremos una parte muy pequeña de la cuenca. Se ha obtenido que en 2013 en torno al 95 % de la cuenca se corresponde con una erosión inferior o igual a la moderada. Los estados erosivos más bajos se extienden por los terrenos de pendientes inferiores al 25 %, correspondiéndose con la zona centro-oeste de la cuenca. Las áreas con erosión alta

se distribuyen de forma dispersa por zonas de altitudes medias y pendientes mayores al 30 %.

Comparando los resultados (Figura 3) se observa un aumento de la superficie con una erosión baja y muy baja, de forma que menos del 6% de la superficie se corresponde con un estado alto, muy alto y extremo.

Con RUSLE se concreta que en 1957 las zonas de erosión muy baja y baja ocupaban alrededor del 40 % de la superficie total de la cuenca. Con un 44 % de la superficie, el nivel erosivo predominante era el moderado. Al noreste de la cuenca se localizaban los territorios con un estado de erosión alto y muy alto, siendo la superficie referida a un estado de erosión extrema prácticamente inapreciable con un 0,0003 % de la superficie total. Actualmente más del 95 % de la cuenca sufre una erosión inferior o igual a la moderada, la erosión muy baja y baja ocupa más de la mitad de la superficie total y el 35 % de la cuenca se corresponde con una erosión moderada. En la Figura 3 se puede observar que no existen terrenos en los que el estado erosivo sea extremo.

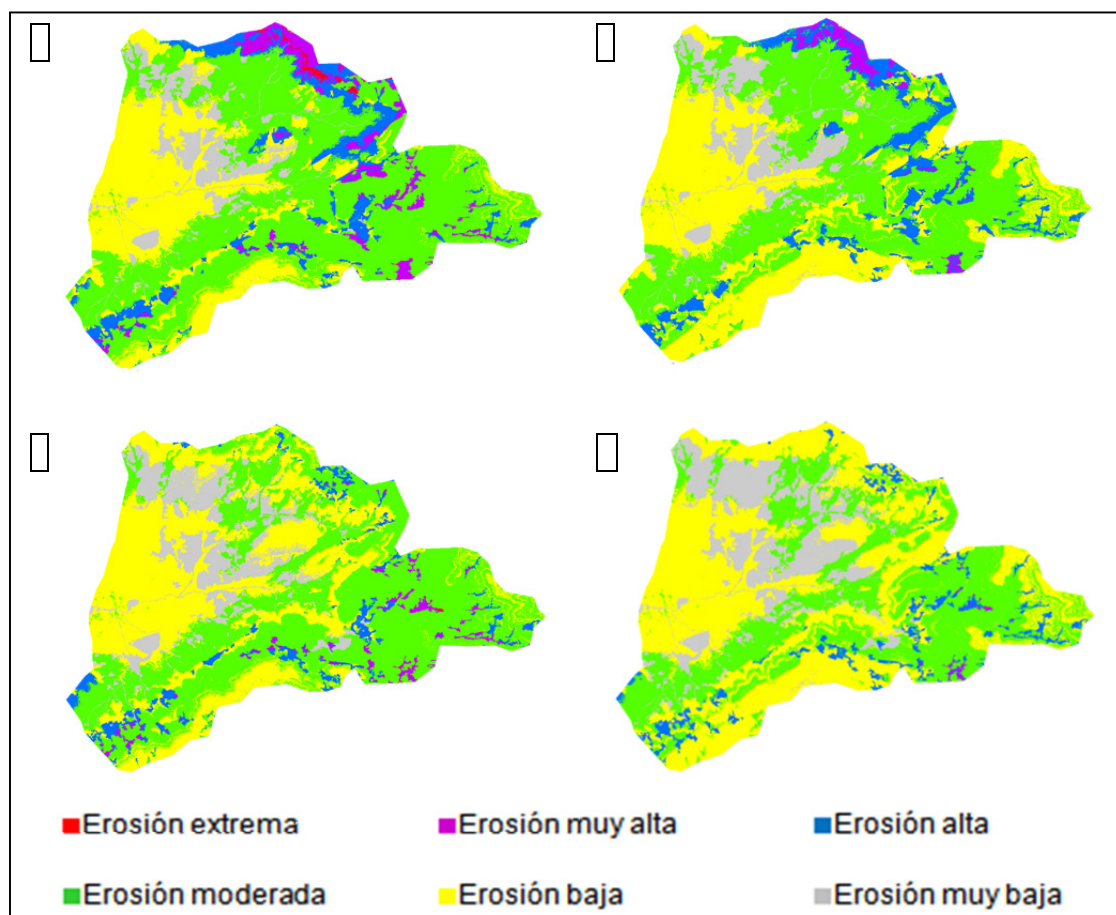


Figura 3. Mapa de los estados erosivos mediante USLE y RUSLE. (A) 1957 USLE; (B) 2013 USLE; (C) 1957 RUSLE; (D) 2013 RUSLE

Analizando la superficie ocupada por cada nivel erosivo, en función del modelo y el año de estudio, se puede deducir que el área ocupada por las tasas de erosión baja y muy

baja es mayor en RUSLE, siendo la USLE la metodología que nos indica mayores extensiones en la cuenca con áreas activas y posicionándola en una situación más desfavorable.

Los modelos fijan el estado erosivo medio de la cuenca en los dos periodos de tiempo como moderado. Sin embargo, en términos cuantitativos difieren. El modelo USLE establece en  $34,80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  la erosión media en 1957 y en  $28,66 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  para el año 2013, mientras que los valores del modelo RUSLE son menores,  $27,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  en 1957 y  $22,58 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  en 2013. La reducción de la erosión es de un 17,64 % y un 17,65% para USLE y RUSLE respectivamente. Estas reducciones se producen mayoritariamente en zonas que tenían una erosión alta, muy alta o extrema y han evolucionado hacia estados erosivos de menor erosión. Es esperable que si se aumenta la superficie protegida o repoblada la disminución en la erosión sea mayor.

Las emisiones de sedimentos obtenidas con MUSLE se reflejan en la Tabla 9, observándose una disminución ante un mismo episodio de lluvia considerada.

Tabla 9. Emisión de sedimentos para cada periodo de retorno y la disminución sufrida

T (años)	Es (m <sup>3</sup> )	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Sedimentos (t)		
			1957	2013	Disminución
2	1.950.009,12	116,36	169.313,57	139.434,71	29.878,87
5	5.175.577,55	305,07	501.769,45	413.221,90	88.547,55
10	6.356.160,57	363,34	620.845,70	511.284,70	109.561,01
25	9.519.813,85	547,06	978.929,99	806.177,64	172.752,35
50	12.213.125,60	701,88	1.294.047,18	1.065.685,91	228.361,27
100	15.459.734,79	911,50	1.709.370,10	1.407.716,55	301.653,55
200	18.888.505,20	1.122,73	2.149.038,05	1.769.796,04	379.242,01
500	23.731.459,90	1.400,80	2.764.215,05	2.276.412,39	487.802,66

T: Periodo de recurrencia; Es: Escorrentía; Q<sub>p</sub>: Caudal punta

La restauración hidrológica-forestal de 1964 contempló la construcción de diques de retención. Díaz (2014) ha calculado que el valor medio de retención de estos diques es del 92,12 %. Los resultados mostrados en la Tabla 9 no tienen en cuenta estas retenciones, por lo que las disminuciones únicamente hacen referencia a los cambios producidos en los usos de suelo de la cuenca.

## CONCLUSIONES

La utilización de un software adecuado y los modelos de estimación de producción y emisión de sedimentos, han permitido la creación de mapas erosivos de la cuenca, localizando y delimitando de forma precisa la erosión del suelo en función de las tasas establecidas. Los resultados muestran una reducción de las pérdidas de suelo y emisión de sedimentos con respecto a 1957.

Esta disminución es debida a los cambios de los usos del suelo y a la eficacia de la restauración hidrológico-forestal, la cual no solamente ha transformado el paisaje sino que también ha favorecido el desarrollo de la cubierta vegetal, reduciendo de esta manera la escorrentía superficial y los caudales punta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almorox, J.; López, F.; Rafaelli, S.; 2011. *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación*. Murcia.
- Bahadur K.C.K.; 2009. Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: A case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand. *Environmental Geology*, 57: 695–705.
- Bathrellos G.D; Gaki-Papanastassiou K.; Skilodimou H.D.; Skianis G.A.; Chousianitis K.G.; 2013. Assessment of rural community and agricultural development using geomorphological–geological factors and GIS in the Trikala prefecture (Central Greece). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27: 573–588.
- Bennett E.M.; Peterson Garry D.; Gordon L.J. ; 2009. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12(2):1394–1404.
- Bhattarai R.; Dutta D.; 2007. Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale. *Water Resources Management*, 21:1635–1647.
- Demirci A.; Karaburun A.; 2012. Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 66: 903–913.
- Díaz, V. 2014. *Control de la erosión ejercido por los diques forestales de la restauración hidrológico-forestal de Tórtolas (Ávila)*. Tesis doctoral (pendiente de defensa). Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Palencia.
- Fernandez C.; Wu J.Q.; McCool D.K.; Stockle C.O.; 2003. Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE, and SEDD. *Journal of Soil and Water Conservation*. 58, 3: 128-136.
- Fistikoglu O.; Harmancioglu N.B.; 2002. Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion. *Water Resources Management* 16: 447–467.
- Gyssels G.; Poesen J. ; Bochet E. ; Li Y.; 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography* 29(2):189–217.
- Hui L.; Xiaoling C.; Jae L.; Xiaobin C.; Sagong m.; 2010. Assessment of Soil Erosion and Sediment Yield in Liao Watershed, Jiangxi Province, China, Using USLE, GIS, and RS. *Journal of Earth Science*, 21 (6): 941–953.
- Icona; 1982. Paisajes erosivos en el sureste español. Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación. *Monografía ICONA*, 26.
- Kukul S.S.; Sur H.S.; Gill S.S.; 2007. Factors responsible for soil erosion hazard in submontane Punjab, India. *Soil Use Manag* 7(1):38–44.
- Kunihiko Y.; Yoshinori I.; 2005. Guidelines for soil conservation towards integrated basin management for sustainable development: A new approach based on the assessment of soil loss risk using remote sensing and GIS. *Paddy Water Environmental*, 3: 235–247.
- Marques da Silva R.; Gico S.M.; Guimaraes C.A.; 2012. Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case study of Tapacurá catchment. *Natural Hazards*, 62: 953–970.
- Mongil, J.; Navarro, J.; Cruz, V.; Díaz, V.; 2013. Destrucción y restauración de la cubierta forestal en la cuenca alta del río Corneja (Ávila): análisis histórico de un proceso de gestión cambiante. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 38: 107-113.
- Pandey A.; Chowdary V.M.; Mal B. C.; 2009. Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS. *Paddy Water Environment*, 7:105 – 113.

- Pandey A.; Chowdary V.M.; Mal B.C.; 2007. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 21: 729–746.
- Pandey A.; Mathur A.; Mishra S.K.; Mal B.C.; 2009. Soil erosion modeling of a Himalayan watershed using RS and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 59: 399-410.
- Perovi V.; Zivotic L.; Kadovic R.; Dordevic A.; Jaramaz D.; Mrvic V.; Todorovic M.; 2013. Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia. *Environmental Earth Sciences*, 68:115–128.
- Prasannakumar V.; Shiny R.; Geetha N.; Vijith H.; 2011. Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: a case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India. *Environmental Earth Sciences*, 64: 965–972.
- Rodriguez, M.; Florentino, A.; Gallardo, J.; Garcia, R.A.; 2004. Sistemas de Información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España aplicando la metodología usle. *Agronomía Tropical*, 54 (4): 391-410.
- SanjaY K.J.; Sudhir K.; Varghese J.; 2001. Estimation of Soil Erosion for a Himalayan Watershed Using GIS Technique. *Water Resources Management* 15: 41 - 54.
- Selkimäki M.; González-Olabarria J.R.; Pukkala T.; 2012. Site and stand characteristics related to surface erosion occurrence in forests of Catalonia (Spain). *European Journal of Forest Research*, 131: 727–738.
- Trabucchi M.; Comín F.A.; O’Farrell P.J.; 2013. Hierarchical priority setting for restoration in a watershed in NE Spain, based on assessments of soil erosion and ecosystem services. *Regional Environmental Change*, 13: 911–926.
- Vemu S.; Pinnamaneni U.B.; 2011. Estimation of spatial patterns of soil erosion using remote sensing and GIS: a case study of Indravati catchment. *Natural Hazards*, 59:1299–1315.
- Verheijen, F.G.A.; Jones R. J. A.; Rickson, R. J.; Smith, C. J.; 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth – Science Reviews*, 94: 23 – 38.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D.; 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Agriculture Handbook*, 537.
- Yue-qing X.; Jian P.; Xiao-mei S.; 2009. Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China. *Environmental Geology*, 56:1643–1652.
- Zhou Q.; Yang S.; Zhao C.; Cai M.; Ya L.; 2014. A Soil Erosion Assessment of the Upper Mekong River in Yunnan Province, China. *Mountain Research and Development*, 34 (1): 36 – 47.