

## ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO DEL FACTOR LS PARA LA ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA

J.M.GISBERT BLANQUER, S. IBÁÑEZ ASENSIO, G. ANDRÉS AZNAR, A. MARQUÉS MATEU

Departamento de Producción Vegetal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Valencia. jgisbert@prv.upv.es

**Abstract.** The great incidence of on soil degradation makes interesting to measure its effects and to predict losses under the circumstances. At present, introduction of digital cartographic representation thecnics demands a review of traditional methods and the most complicated estimates or calculation in erosion models is the topographic factor LS. This report is a comparative study of a few usual methodologies for the determination of this factor. All of which use the same equations of the USLE method, the most used tool in such studies, but with different procedure in the accessories factors calculation.

**Key words:** LS factor, comparative study, estimate erosion models

**Resumen.** La gran incidencia de la erosión hídrica sobre la degradación del suelo justifica plenamente tanto la medida como la prediccción de sus efectos bajo diversas circunstancias; en el momento actual, la introducción de técnicas digitales de representación cartográfica exige una readaptación de los métodos tradicionales al haberse complicado enormemente el cálculo de los factores implicados en los modelos. El presente trabajo es un estudio comparativo de algunas de las metodologías más ampliamente utilizadas para la determinación del factor topográfico conjunto LS; todas ellas aplican las ecuaciones propias del método USLE, diferenciándose en las técnicas o procedimientos utilizados para el cálculo de los subfactores o factores accesorios.

**Palabras clave:** Factor LS; estudio comparativo; métodos de estima de pérdidas de suelo.

### INTRODUCCIÓN

Conocida la gran incidencia de la erosión hídrica sobre la degradación del suelo, resulta de máximo interés ser capaces tanto de medir sus efectos como de predecir las pérdidas que se producirán a partir de unas circunstancias dadas. Los distintos métodos utilizados con este fin pretenden ser más eficientes al tiempo que *universales*, e intentan evitar problemas derivados de su aplicación a

ámbitos diferentes a los de sus formulaciones originales, destacando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (*USLE*) como herramienta básica empleada en la mayoría de los trabajos de estima (Almorox et al., 1994).

En el momento actual, la introducción de técnicas digitales de representación cartográfica (De Antonio, 1994; Desmet y Govers, 1996) exige una readaptación de los métodos tradicionales, complicándose enormemente el cálculo de los factores implicados en los

modelos; de todos ellos, el factor topográfico o factor LS posiblemente sea uno de los más cuestionados puesto que su determinación exige tener conocimiento previo de la distribución en el espacio de los diferentes flujos erosivos cuyas consecuencias precisamente se quieren evaluar.

El presente trabajo es un estudio comparativo de algunas de las metodologías más ampliamente utilizadas para la determinación del factor topográfico conjunto LS; en

su desarrollo todas aplican las ecuaciones propias del método USLE, diferenciándose en las técnicas o procedimientos utilizados para el cálculo de los subfactores o factores accesorios.

La zona de trabajo es la comarca de la Marina Alta, al norte de la provincia de Alicante (Figura 1); con una extensión de 75921 ha es representativa de las diferentes condiciones determinantes de la pérdida de suelo por erosión hídrica.

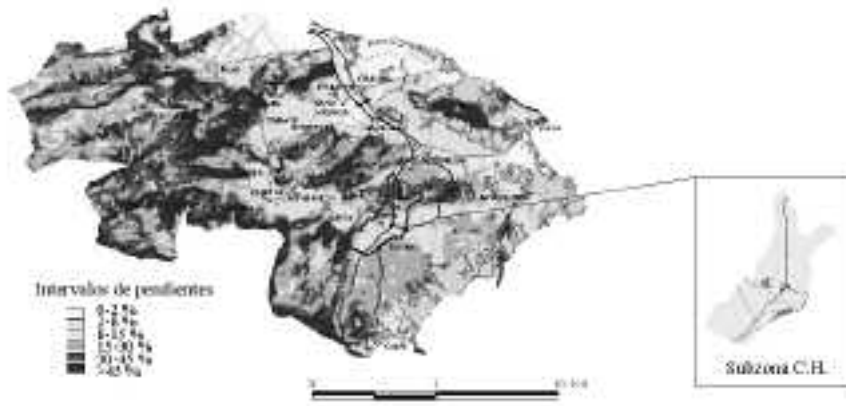


FIGURA 1: Mapa de pendientes de la Comarca de la Marina Alta y de la subzona

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se han analizado cinco métodos alternativos. Los datos han sido obtenidos a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT), fotointerpretación de fotogramas aéreos de escala 1/25000 y cartografía básica digital ( $e=20m$  y  $e=2m$ ), y para su gestión y tratamiento se ha empleado el SIG ARC/INFO NT y las aplicaciones Arc-View, Arc-Info y Auto Cad.

El cálculo del factor topográfico conjunto LS en los cinco métodos ha sido realizado aplicando las ecuaciones desarrolladas por Wischmeier y Smith (1978). Los mapas de pendientes (subfactor S) han sido generados

según dos procedimientos alternativos: los métodos **LC** y **cpe** utilizan el comando SLOPE de ARC/INFO, tomando para cada celda la pendiente máxima en relación a las celdas vecinas, mientras que en los métodos **LF** y **LL** el mapa se genera aplicando un programa desarrollado en lenguaje AML de ARC/INFO que calcula la pendiente siguiendo las direcciones del flujo (Hickey et al., 1994). Las cinco metodologías analizadas en el presente estudio son:

### *Método de Wischmeier y Smith (WS)*

Desarrollado por Wischmeier y Smith (1978) estima las pérdidas de suelo causadas por la arroyada superficial, considerando

como punto de inicio las partes altas de la ladera y como punto final las zonas de deposición o la confluencia con algún cauce. Fue formulada para laderas de pendiente uniforme y con igual tipo de suelo y vegetación en toda su longitud, pero en casos diferentes debe utilizarse factores correctores o asignar un valor de  $K*LS*C$  para cada uno de los tramos homogéneos.

La localización y medición de las laderas de la zona de trabajo se ha llevado a cabo a partir de la cartografía topográfica, fotointerpretación de fotogramas aéreos y comprobaciones de campo. Puesto que tres de las metodologías estudiadas emplean técnicas cartográficas digitales, en éste método se han utilizado expresamente las técnicas cartográficas tradicionales anteriores a ellas y, al resultar un trabajo excesivamente minucioso, sólo ha sido aplicado en una cuenca hidrográfica de algo más de 1.500 Ha de extensión

#### ***Método del contorno-punto-extremo (cpe)***

Ideado por Williams y Berndt (1976) para la determinación del factor LS en superficies extensas o pequeñas cuencas hidrográficas en las que, aún habiendo homogeneidad en vegetación o tipo de suelo, los parámetros para la determinación de L y S presentan amplias variaciones por lo que su cálculo mediante otras metodologías es demasiado complejo.

Básicamente consiste en localizar una serie de pequeñas subcuencas de pendiente uniforme, asignándoles a cada una su valor de L y de S en función de la longitud del contorno de ciertas curvas de nivel y de otros parámetros accesorios calculados en base al recorrido de las líneas de drenaje (López Cadenas, 1994).

El factor topográfico LS se calcula entonces aplicando la ecuación de la USLE para laderas de pendiente, suelo y vegetación uniformes, y a partir de los resultados de todas las subcuencas se determina la correla-

ción entre la pendiente general y los valores LS, asignando así dicho factor a todas los puntos de la cuenca.

#### ***Asignación del valor de longitud e inclinación de la pendiente a las celdas de un SIG: métodos LC, LF y LL***

Las técnicas cartográficas digitales optimizan los trabajos de estima sobre grandes extensiones al permitir tanto la automatización de las operaciones de cálculo y de representación cartográfica como la reducción de la superficie mínima de asignación de valores.

El acotar la unidad básica de medida (usualmente los valores se asignan a las celdas de un MDT) implica el riesgo de desvirtuar el propio proceso erosivo: se obvia el hecho de que la escorrentía va aumentando su poder erosivo en su recorrido ladera abajo.

Los métodos más simples y cómodos de aplicar consideran un único recorrido, asignando automáticamente como factor L a todas las celdas su propia dimensión (**método LC**). Otra alternativa consiste en determinar el recorrido exacto del flujo dentro de cada celda, fluctuando L entre un mínimo y un máximo muy próximos al tamaño de la rejilla (**método LF**). Por último, es posible asignar como valor de L la distancia previamente recorrida por el flujo antes de llegar a las celdas, calculándose ésta mediante una serie de algoritmos (Hickey et al., 1994; **método LL**).

## **RESULTADOS**

### ***Factor LS o factor topográfico***

Los tres métodos que utilizan SIG (**LC**, **LF** y **LL**) y la metodología del contorno-punto-extremo (**cpe**) presentan histogramas de distribución decrecientes muy similares, con numerosos valores por debajo de 4 y escasos por encima de 30 (Figura 2).

En los tres casos SIG, y a pesar de las discrepancias en el cálculo de los subfactores L y S, los resultados son análogos para todos

los intervalos a excepción del último (Tabla 1). Los valores del método **cpe** se diferencian de éstos fundamentalmente en el primer intervalo, que en este caso tiene una menor representación; por el contrario, el resto de los tramos aumentan ligeramente en comparación con los métodos SIG excepto en el último (que se mantiene bastante igualado con respecto a los métodos **LC** y **LF**).

Los datos obtenidos al aplicar el método de Wischmeier y Smith (**WS**) en la subcuenca

mantienen la misma tendencia descendente en los primeros tramos, variando no obstante las magnitudes (Figuras 3 y 4); los valores por debajo de 4 son inferiores y para el resto, superiores, por lo que los intervalos quedan más igualados en toda la distribución (Tabla 2). Los valores superiores a 30 constituyen una importante excepción al representar casi el 13% de los casos mientras que en los otros métodos analizados son siempre mínimos (en el mejor de los casos no llegan ni al 2%).

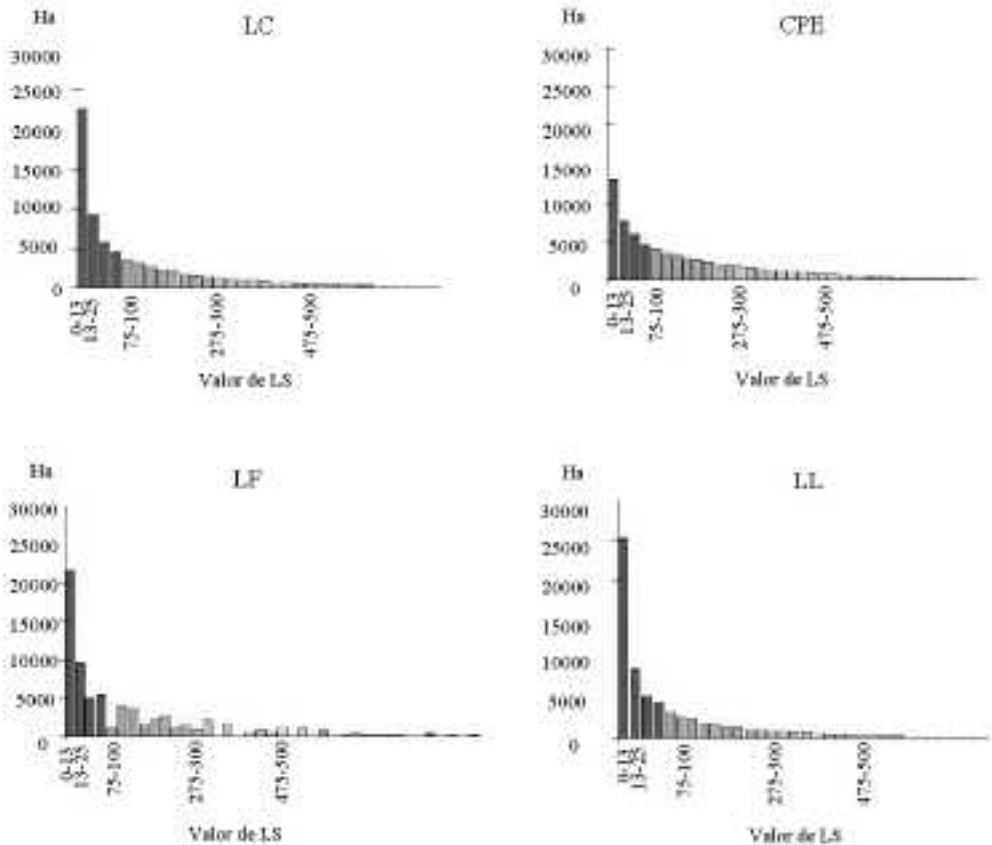


FIGURA 2: Histogramas de distribución de los valores de LS para la comarca la Marina Alta

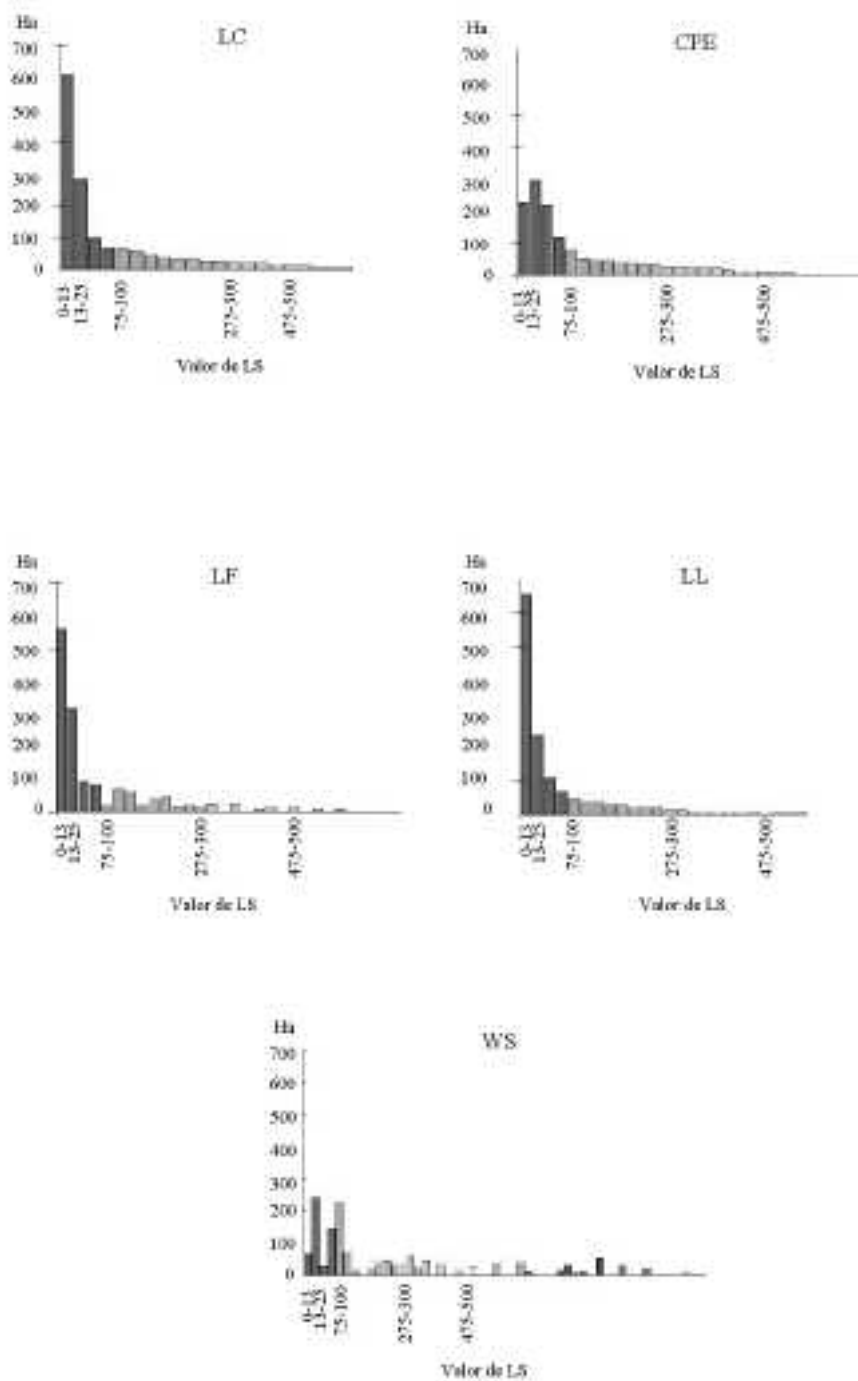


FIGURA 3: Histogramas de distribución de los valores de LS para la subzona cuenca hidrográfica

TABLA 1: Valores del factor LS en la comarca de la Marina Alta

Método de cálculo		< 4	4-9	9-15	15-22	22-30	>30
LF	Ha	41751,8	12724	8970,4	5700,8	3614,5	3159,5
	%	55,0	16,7	11,8	7,5	4,7	4,1
LC	Ha	42207,5	14318,0	9283,5	5820,7	2851,8	1439,4
	%	55,6	18,9	12,2	7,7	3,7	1,9
LL	Ha	44170,4	12494,4	7615,7	4820,5	2970,1	3849,9
	%	58,2	16,5	10,0	6,3	3,9	5,1
CPE	Ha	30810,0	16708,4	12421,5	8428,8	4627	2925,3
	%	40,6	22,1	13,4	11,1	6,1	3,8

TABLA 2: Valores del factor LS en la cuenca

Método de cálculo		< 4	4-9	9-15	15-22	22-30	>30
LF	Ha	1054,6	216,6	134,9	75,2	35,1	17,8
	%	68,7	14,1	8,8	4,9	2,3	1,1
LC	Ha	1056,5	240,3	142,4	70,2	22,5	2,3
	%	68,9	15,7	9,3	4,6	1,5	0,1
LL	Ha	1083,4	204,9	118,5	67,7	36,2	23,8
	%	70,6	13,3	7,7	4,4	2,3	1,5
CPE	Ha	861,7	285,9	203,0	123,0	50,1	10,6
	%	56,1	18,6	13,2	8,0	3,3	0,7
WS	Ha	500,0	350,0	250,2	131,0	106,0	197,5
	%	32,6	22,8	16,3	8,5	6,9	12,9

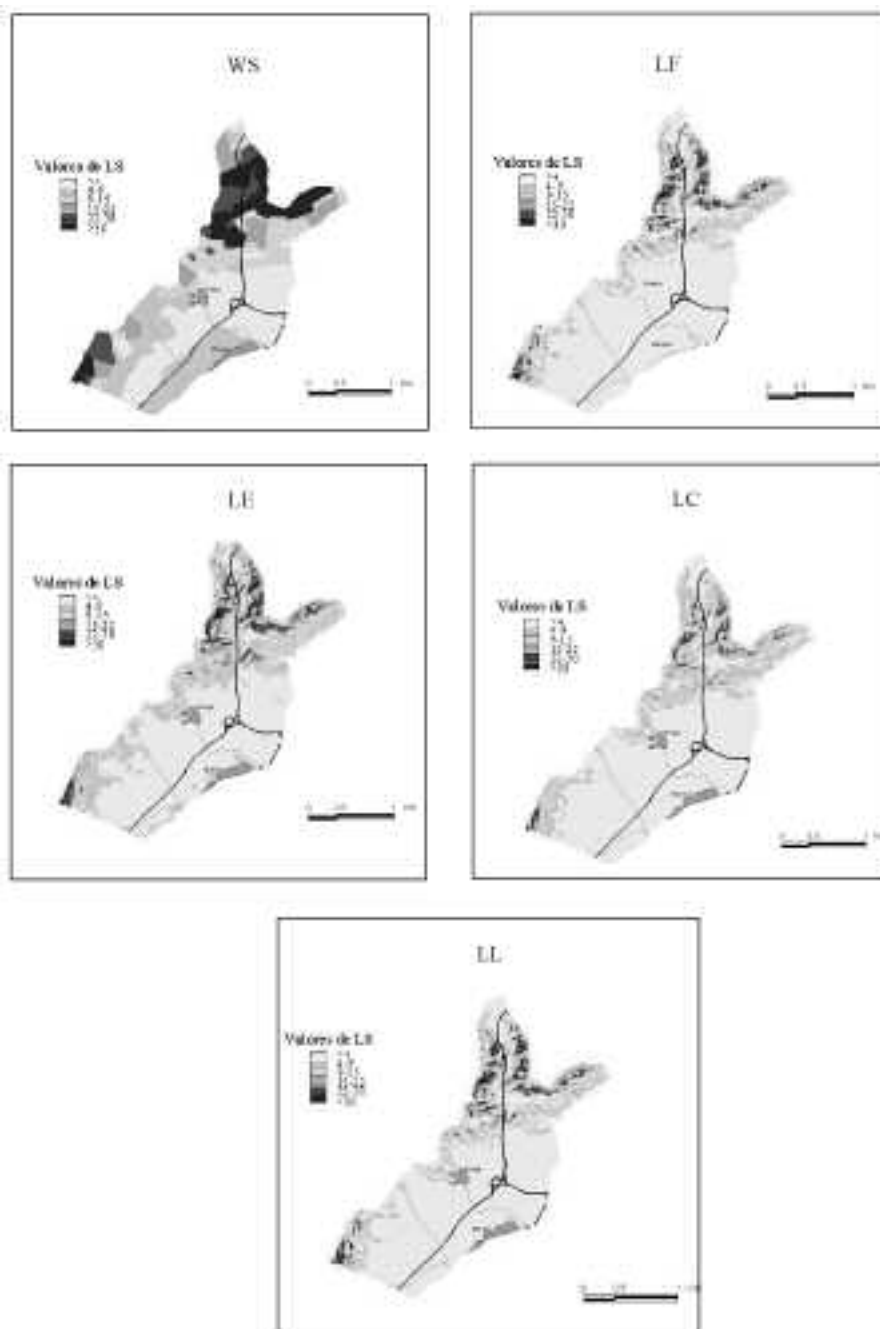


FIGURA 4: Mapas de distribución de valores LS para la subzona de la cuenca



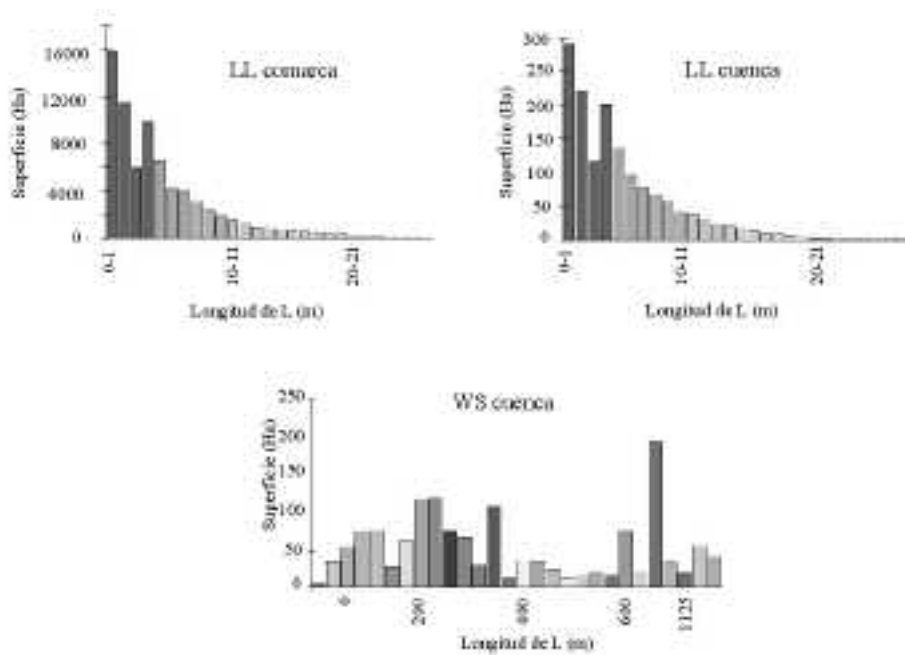


FIGURA 7: Histogramas de distribución de valores de L para la comarca y la subzona

## CONCLUSIONES

El método **cpe** se revela como muy acertado siempre que las subcuencas seleccionadas sean representativas de todas las condiciones topográficas; siendo así, la correlación entre S y LS se estima fiable.

Los valores obtenidos con el método **WS** probablemente se ajusten mejor a la realidad topográfica de la zona, caracterizada por un relieve abrupto y acentuado con declives superiores al 15% en prácticamente el 50% de sus laderas.

Para zonas de trabajo de cierta extensión, la aplicación del método **WS** con las técnicas cartográficas tradicionales resulta excesivamente laboriosa. La incorporación de herramientas cartográficas digitales (método **LL**) requiere un conocimiento exhaustivo tanto de los lenguajes de programación como de

los modelos descriptivos de los procesos erosivos.

Vista la gran similitud en los resultados obtenidos al aplicar los tres métodos SIG, no parece justificada la mayor complejidad de cálculo del método **LL** frente a la sencillez de los métodos **LC** y **LF** (únicamente requieren los comandos del propio programa); posiblemente el empleo de un MDT de mayor precisión supondría diferencias mayores.

El uso de técnicas cartográficas digitales en el desarrollo de metodologías tradicionales como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo o el método del contorno-punto-extremo ha supuesto un importantísimo avance en cuanto a calidad y fiabilidad de los trabajos de estima de pérdida de suelo por procesos de erosión hídrica, facilitando además sobremana la realización de evaluaciones sobre grandes extensiones.

## REFERENCIAS

- Almorox, J., De Antonio, R., Saa, A., Cruz Díaz, M<sup>a</sup>., Gasco, J.M. (1994): Métodos de estimación de la erosión hídrica. Ed. Agrícola Española, 152 p.
- De Antonio, R. (1994): Evaluación de la erosión hídrica mediante Sistemas de Información Geográfica: aplicación a la Comunidad de Madrid. Tesis Doctoral, U.P.M. –E.T.S.I.A., España.
- Desmet, P. y Govers, G. (1996): A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*. 15 (5), 427-433.
- Hickey, R., Smith, A., Jankowski, P. (1994): Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID. *Computing, Environment and Urban Systems*. 18 (5), 365-380.
- López Cadenas De Llano, F. (1994): Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. TRAGSA-Mundi Prensa, 902 p.
- Williams, J.R. y Berndt, H.D. (1976): Determining the USLE, length-slope factor for watersheds. Soil Conservation S.A: IOWA.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D.(1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. USDA Agric. Handbook nº 537, 58 p.