



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# EL FACTOR LS DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO (USLE)

<b>Apellidos, nombre</b>	Ibáñez Asensio, Sara ( <a href="mailto:sibanez@prv.upv.es">sibanez@prv.upv.es</a> ) Moreno Ramón, Héctor ( <a href="mailto:hecmora@prv.upv.es">hecmora@prv.upv.es</a> ) Gisbert Blanquer, Juan Manuel ( <a href="mailto:jgisbert@prv.upv.es">jgisbert@prv.upv.es</a> )
<b>Departamento</b>	Producción Vegetal
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



## 1 Resumen

En el presente artículo se analiza el significado del factor LS o factor de relieve de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE), la herramienta más utilizada para estimar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica de tipo laminar o en regueros de pequeña entidad.

El relieve es uno de los actores principales en los mecanismos de degradación de suelos tanto por la repercusión que tiene sobre la cantidad de agua infiltrada como sobre el potencial erosivo del agua que no se infiltra, la escorrentía.

## 2 Objetivos

Con el presente artículo docente se pretende que el lector sea capaz de:

- Conocer la importancia del relieve sobre la infiltración de la lluvia
- Conocer la importancia del relieve sobre la capacidad erosiva de la escorrentía
- Calcular el factor R
- Evaluar los valores del factor LS

## 3 Estructura e introducción

El presente artículo docente se estructura en los siguientes puntos:

1. Resumen de ideas clave
2. Objetivos
3. Estructura e introducción
4. Desarrollo
  - 4.1. Cálculo del factor LS
  - 4.2. Ejemplo del cálculo
5. Cierre
6. Bibliografía

Si seguimos todos estos apartados al final conoceremos en profundidad los pasos a seguir para asignar correctamente el valor del factor LS en laderas complejas, en las que el relieve y el tipo de suelo y uso no son uniforme en todo el terreno.

En el supuesto de que no conozcas los conceptos básicos de la conservación de suelos relacionados con el efecto del relieve sobre los procesos de erosión, debes buscar información en cualquier libro (por ejemplo los señalados en la bibliografía) o en internet utilizando palabras claves específicas.



## 4 Desarrollo

La influencia del relieve puede ser determinante de la cantidad de suelo perdido a consecuencia de una lluvia por dos motivos principales:

- El ángulo de la pendiente modifica el tiempo de permanencia de la lámina de agua que circula por la superficie del terreno, independiente del volumen de escorrentía generado. En los terrenos llanos o con poca inclinación el agua tiene más posibilidad de infiltrarse que en las zonas inclinadas, en las que la escorrentía circula más rápidamente hacia las zonas de menor cota.
- Cuanto mayor sea la longitud y el ángulo de inclinación de una ladera mayor será la energía cinética que alcanzará el agua circulante por su superficie, por lo que mayor será su capacidad de desagregación y transporte (y por tanto su poder erosivo).

El factor conjunto LS de la USLE responde al efecto combinado de la longitud y el ángulo de inclinación de las laderas, cuyos efectos son imposibles de individualizar. Su valor sirve para estimar las pérdidas de suelo que se producen en un terreno en pendiente comparativamente a las pérdidas por unidad de área que se producirían si una misma lluvia cayera sobre una parcela de 22 m de longitud y 9% de ángulo de inclinación con idénticas condiciones de tipo de suelo, cultivo y manejo.

En la práctica se calcula mediante una ecuación de ajuste obtenida a partir de series de datos procedentes de parcelas estándar tipo USLE, o mediante un nomograma o una tabla equivalente o derivada.

Cuando las laderas sean de pendiente irregular (cóncavas o convexas) o complejas la forma de actuar será dividir la ladera en tramos de pendiente homogénea y similar longitud, determinar el factor LS de cada segmento, para después obtener el valor global de factor LS mediante media ponderada de los valores LS de cada segmento.

La determinación del factor LS en zonas de gran extensión en las que existen diferentes condiciones topográficas (por ejemplo a nivel comarcal o provincial, donde se alternan valles y sierras de diferentes características) es una tarea compleja que requiere el empleo de Sistemas de Información Geográfica como herramienta de ayuda en los cálculos.

En el caso del cálculo del factor LS en cuencas, existen métodos específicos como los de "densidad de drenaje" y "pendiente media" de Horton o el método del "contorno-punto-extremo" de Williams y Berndt (1976). No obstante, si la topografía de la zona se ajusta a las directrices impuestas por la USLE, la opción más adecuada sería aplicar el nomograma subdividiendo el territorio en laderas de características homogéneas.

En virtud de la independencia entre factores, cuando en una ladera aparecen  $i$  tramos con diferentes suelos y/o cubiertas vegetales, deberemos obtener  $K_i C_i$  para cada tramo de suelo y vegetación homogéneos, y un LS único para toda la ladera; tendremos por lo tanto  $K_i \times LS \times C_i$ , (figura 1)



Figura 1. Detalle de 3 sectores con factores K y C diferentes en una misma ladera con un único valor de LS: desde el inicio hasta el pto. A; del pto. A al B; del punto B en adelante

## 4.1 Cálculo del factor LS

### 4.1.1 Laderas de inclinación uniforme < 20% y longitud < 1000 pies

#### Opción A: usar la ecuación

$$LS = \left( \frac{X}{22,13} \right)^m (0,065 + 0,045s + 0,0065s^2), \text{ donde}$$

$$\text{Factor longitud} \rightarrow L = \left( \frac{X}{22,13} \right)^m$$

L= factor longitud  
X= longitud de la ladera (en metros)  
m= constante que depende de la inclinación de la pendiente

$$\text{Factor pendiente} \rightarrow S = \frac{0,43 + 0,3s + 0,043s^2}{6,613}$$

S= factor inclinación  
s= inclinación en porcentaje

S (%)	m
≥ 5	0,5
3 - 5	0,4
1 - 3	0,3
< 1	0,2



**Opción B: usar la tabla**

Valores del factor LS												
Pendiente (%)	Longitud de la ladera (pies)											
	25	50	75	100	150	200	300	400	500	600	800	1,000
0.2	0.060	0.069	0.075	0.080	0.086	0.092	0.099	0.105	0.110	0.114	0.121	0.126
0.5	.073	.083	.090	.096	.104	.110	.119	.126	.132	.137	.145	.152
0.8	.086	.098	.107	.113	.123	.130	.141	.149	.156	.162	.171	.179
2	.133	.163	.185	.201	.227	.248	.280	.305	.326	.344	.376	.402
3	.190	.233	.264	.287	.325	.354	.400	.437	.466	.492	.536	.573
4	.230	.303	.357	.400	.471	.528	.621	.697	.762	.820	.920	1.01
5	.268	.379	.464	.536	.656	.758	.928	1.07	1.20	1.31	1.52	1.69
6	.336	.476	.583	.673	.824	.952	1.17	1.35	1.50	1.65	1.90	2.13
8	.496	.701	.859	.992	1.21	1.41	1.72	1.98	2.22	2.43	2.81	3.14
10	.685	.968	1.19	1.37	1.68	1.94	2.37	2.74	3.06	3.36	3.87	4.33
12	.903	1.28	1.56	1.80	2.21	2.55	3.13	3.61	4.04	4.42	5.11	5.71
14	1.15	1.62	1.99	2.30	2.81	3.25	3.98	4.59	5.13	5.62	6.49	7.26
16	1.42	2.01	2.46	2.84	3.48	4.01	4.92	5.68	6.35	6.95	8.03	8.98
18	1.72	2.43	2.97	3.43	4.21	3.86	5.95	6.87	7.68	6.41	9.71	10.9
20	2.04	2.88	3.53	4.08	5.00	5.77	7.07	8.16	9.12	10.0	11.5	12.9

$LS = (\lambda / 72.6)^m (65.41 \text{ sen}^2 \theta + \text{sen } \theta + 0.065)$ ; donde  $\lambda$ = longitud de la ladera en pies;  $m= 0.2$  para gradientes < 1%, 0.3 para porcentajes entre el 1 y el 3%, 0.4 para 3.5 - 4.5%, 0.5 para  $\geq 5\%$ ; y  $\theta$ = ángulo de la ladera.

**4.1.2 Laderas de pendiente uniforme de inclinación entre 20% y 50% y longitud < 1000 pies**

En este caso debe utilizarse el gráfico o nomograma en el que se combina directamente  $s$  y  $L$ . La máxima longitud "permitida" de la ladera cambia según la inclinación de la pendiente (las laderas más empinadas no admiten  $L$  por encima de los 100 pies).





### 4.1.3 Laderas de longitud > 1000 pies e inclinación < 50%

#### Opción A: Podemos dividir la ladera en tramos de igual longitud y pendiente uniforme

- 1) Dividimos la ladera en tramos con inclinación uniforme y longitud similar, y los numeramos de forma consecutiva de arriba abajo, siendo j el n° de orden de cada tramo
- 2) Calculamos el factor LS de cada tramo según las indicaciones de los puntos anteriores. Por lo tanto tendremos tantos valores de LS como n° de tramos en los que hemos dividido la ladera.
- 3) Calculamos el factor LS global de la ladera original ponderando los factores LS individuales de cada tramo (calculados en el paso anterior). El factor de ponderación -  $\alpha$ - a aplicar a cada tramo se calcula de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{j^{m+1} - (j-1)^{m+1}}{m^{n+1}}, \text{ donde}$$

j= n° de orden del tramo (de arriba a abajo)

m= exponente de magnitud del declive

- 4) n n° de tramos de igual longitud en los que se divide la ladera

#### Opción B: No podemos dividir la ladera en tramos de igual longitud y pendiente uniforme

Se procede como en la opción A excepto que en punto 3 se utiliza el siguiente coeficiente de ponderación:

$$\alpha = \frac{(U_{2j} - U_{1j})^s}{\lambda}, \text{ donde}$$

$$U_{2j} = \frac{\lambda_{2j}^{(m+1)}}{22,1^m},$$

$\lambda_{2j}$ = distancia desde la parte superior de la ladera hasta la parte inferior del segmento de orden j

$U_{1j}$ = distancia desde la parte superior de la ladera hasta la parte superior del segmento de orden j

s= factor pendiente correspondiente a la pendiente del tramo j (se calculo como en los casos anteriores)

$\lambda$ = longitud total del declive

### 4.1.4 Áreas de pendiente generalizada de entre 20% y 50% de inclinación y longitud de ladera > 1000 pies

En estos casos es recomendable obtener un valor del factor LS representativo de las laderas constituyentes de la cuenca hidrológica mediante métodos específicos como los de "densidad de drenaje" y "pendiente media" de Horton, o el método del "contorno-punto-extremo" de Williams y Berndt.

El método de "Williams y Berndt" es una simplificación del método propuesto por Horton y propone lo siguiente:



- $\lambda$  = Factor longitud:

$\lambda$  = mitad de la inversa de la densidad de drenaje =  $0,5 \frac{\Omega}{\sum L}$ , donde:

$\Omega$ : superficie de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

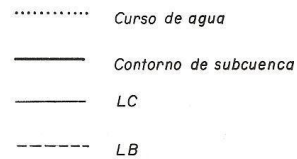
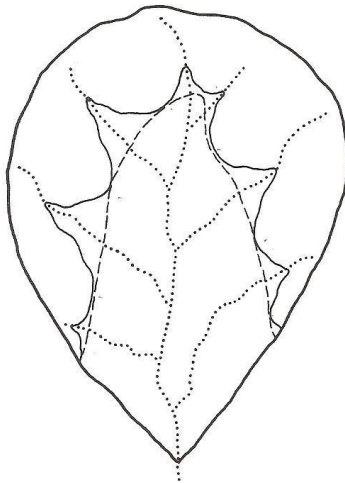
$L$  = Longitud total de los cauces (Km)

- $s$  = Factor pendiente de la cuenca:

$s = 0,25 Z \left[ \frac{LC_{25} + LC_{50} + LC_{75}}{\Omega} \right]$ , donde:

$Z$ : (Km) desnivel de la cuenca.

$LC_{25}$ ,  $LC_{50}$  y  $LC_{75}$ : longitud (km) de los contornos en el 25%, 50% y 75% de  $Z$ .



- Para el cálculo del factor topográfico L.S, se entrará con los valores de  $\lambda$  y  $s$  así obtenidos, procediendo como en los casos anteriores o aplicando las fórmulas de Wischmeier correspondientes:

- para  $s < 9\%$  
$$L.S = \left( \frac{\lambda}{22,1} \right)^{0,3} (0,065 + 0,0454 s + (0,0065 * s^2))$$

- para  $s > 9\%$  
$$L.S = \left( \frac{\lambda}{22,1} \right)^{0,3} \left( \frac{s}{229,1} \right)^{1,3}$$





#### 4.1.5 Zonas de inclinación > 50%

Si la ladera tiene una inclinación  $s > 50\%$  el factor LS de la USLE está fuera de rango y no puede aplicarse la ecuación (inclinaciones tan elevadas son propias de los farallones o escarpes desprovistos de suelo).

#### 4.2 Ejemplo de cálculo del factor LS ponderado

<b>Ejemplo de cálculo del factor LS de una ladera compleja (3 segmentos de inclinación homogénea y L=500 pies)</b>				
(1) Nº segmento	(2) Pendiente (%)	(3) LS tabla	(4) Factor a de ponderación	(5) Total (col 3 x col 4)
1	10	3,06	0,19	0,58
2	16	6,35	0,35	0,22
3	8	2,22	0,46	1,02
				LS = 1,82

### 5 Cierre

El factor LS o efecto del relieve representa la influencia tanto del % de inclinación del terreno como de la longitud del declive sobre las pérdidas de suelo ocasionadas por la escorrentía laminar y entre-regueros. Este factor es uno de los parámetros integrantes de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos desarrollada por el Servicio de Conservación de los Estados Unidos con el objetivo de cuantificar las pérdidas por erosión hídrica, evaluar el riesgo de degradación y estimar el efecto conseguido con la implantación de medidas de conservación.



## 6 Bibliografía

### 6.1 Libros:

- [1] Almorox et al. 1994.- Métodos de estima de la erosión hídrica. Editorial agrícola española, 152 pp.
- [2] Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Reverté, 335 pp
- [3] Gisbert, J.M. e Ibáñez, S. 2003. Procesos erosivos en la provincia de Alicante. Generalitat Valenciana, Consellería de Medio Ambiente, 400 pp + 120 mapas
- [4] López Cadenas, F. (Coord.), 1994. Restauración hidrológico forestal y control de la erosión. TRAGSA - Mundi-Prensa, 902 pp
- [5] López Cadenas, F. (Coord.), 2003. La ingeniería en los procesos de desertificación. TRAGSA, 1045 pp
- [6] Porta, J.; López-Acevedo, M. & Roquero, C. 2003. "Edafología para la agricultura y medio ambiente". Madrid: Ediciones Mundi Prensa. 807 pp

### 6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- 7] Morgan, R.P.C. Erosión y conservación de suelos, en  
<http://books.google.es/books>
- [8] Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp. Disponible en:  
<http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>