



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO (USLE)

Apellidos, nombre	Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es) Moreno Ramón, Héctor (hecmora@prv.upv.es) Gisbert Blanquer, Juan Manuel (jgisbert@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



1 Resumen

En el presente artículo se analiza 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.

La erosión hídrica laminar o en regueros es uno de los principales mecanismos responsables de la degradación de los suelos de muchas zonas del mundo. Cuantificar la magnitud del problema y evaluar o predecir la efectividad de las medidas de conservación en su objetivo de reducir la erosión son dos de las aplicaciones más importantes de las ecuaciones de estima como la USLE.

Otra alternativa a la hora de realizar estimas o predicciones consiste en medir directamente en campo la cantidad de suelo movilizado durante los episodios de lluvia, pero este procedimiento implica un importante gasto de tiempo y recursos.

Las ecuaciones de estima han sido desarrolladas de forma empírica en cuencas o parcelas piloto, ofreciendo una valiosa información que podremos aplicar con fiabilidad a nuestras condiciones de estudio siempre que existan verdaderas similitudes en las características del proceso erosivo.

2 Objetivos

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

- Conocer las condiciones de aplicación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo
- Asignar el valor a los parámetros de la ecuación
- Conocer las limitaciones de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo

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. Características generales de la ecuación
 - 4.2. Factor R de erosividad de la lluvia
 - 4.3. Factor K de erosionabilidad del suelo
 - 4.4. Factor LS o topográfico
 - 4.5. Factor C o de cobertura vegetal
 - 4.6. Factor P de medidas de conservación
5. Cierre
6. Bibliografía



Si seguimos todos estos apartados al final conoceremos el ámbito de aplicación de la USLE y su utilidad en la validación de diferentes medidas de conservación, cumpliendo los objetivos propuestos. No obstante, y para poder llegar a entender la importancia de cada uno de los parámetros implicados, antes debemos conocer cuáles son los procesos de erosión y cuáles son las características del terreno que los acentúan o favorecen.

En el supuesto de que no conozcas estos conceptos básicos en conservación de suelos, debes buscar información en cualquier libro (por ejemplo los señalados en la bibliografía) o en internet utilizando las palabras claves anteriormente señaladas.

4 Desarrollo

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es un método cuantitativo de evaluación indirecta de la pérdida de suelo por procesos de erosión hídrica. La estima de la erosión se realiza a partir de la modelización de la respuesta del sistema natural suelo frente a la precipitación pluvial.

Como todo modelo de simulación, los datos obtenidos al aplicar la ecuación serán más exactos cuanto en la medida que la ecuación recoja las características reales del territorio, siendo fundamental que el valor asignado a los parámetros reproduzcan lo más fielmente posible las condiciones ambientales del diseño.

Cuando esto no ocurre, y no existe una correlación clara entre los ambientes modelizados y nuestras condiciones de trabajo, debemos ser muy cuidadosos en la valoración de los resultados obtenidos.

En el caso de la USLE, que es una ecuación empírica de tipo paramétrico, la modelización sería desarrollada por Wischmeier y Smith (1958 y 1978) en EEUU a partir de los resultados obtenidos, durante los años 50, de un número muy elevado de parcelas de campo instaladas en diferentes localidades del país, con condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de uso muy variadas.

Por su fácil aplicación y "universalidad" en las condiciones ambientales de su aplicación, sigue siendo aún hoy día el modelo de mayor aplicación.

4.1 Características generales de la ecuación

En un principio la USLE fue concebida para modelizar las pérdidas de suelo producidas por procesos de erosión laminar y en arroyada en parcelas agrícolas de los EEUU. Las medidas en campo se hicieron en parcelas estándar con características fijas en cuanto a longitud (22,13 m), pendiente (9%) y uso (agrícola) (figura 1).



Figura 1. Parcelas USLE. a) Vista general b) Detalles del sistema de recogida

La ecuación es un modelo paramétrico que atribuye significación a seis factores que responden a las características ambientales determinantes de la erosión, todos ellos considerados independientes (figura 2).

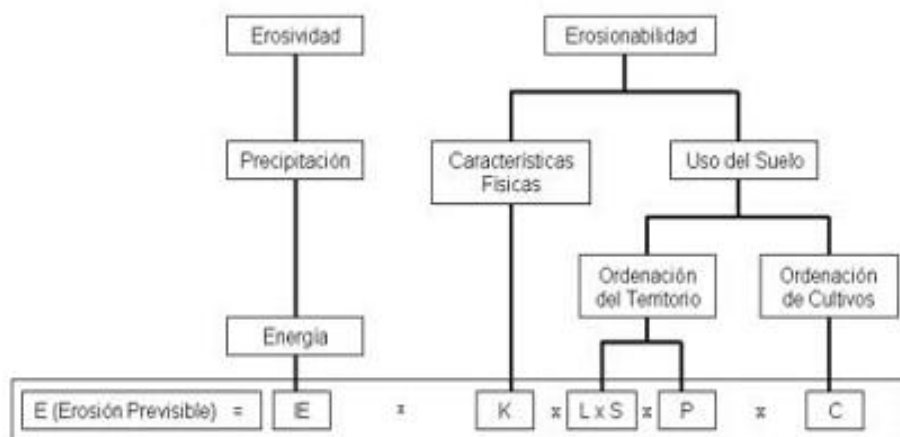


Figura 2. Factores implicados en la USLE

La idea es asignar a cada factor un valor que refleje en qué medida éste es responsable de la degradación de un lugar por erosión hídrica; así por ejemplo, al comparar las pérdidas de suelo producidas en dos parcelas con idéntico suelo, la misma longitud e inclinación de pendiente y con similar cultivo y manejo es admisible pensar que las diferencias en la tasa de erosión son atribuibles únicamente a las diferencias en las lluvias recibidas por una parcela y otra.

Y lo mismo con el resto de los factores de la ecuación, de forma que asignándole a cada uno un valor adecuado a las características del terreno a evaluar, se calcula la erosión anual previsible expresada en t/ha (A, en unidades del Sistema Internacional) para cada una de las áreas homogéneas en la que se divide la zona de trabajo.

Si la expresión de la pérdida de suelo se hace en otro sistema métrico o en otras unidades tendremos que utilizar factores de conversión.

Antes de pasar a describir brevemente cada uno de los factores o parámetros implicados conviene destacar que la verdadera fortaleza de la USLE no reside únicamente en el hecho de que pueda proporcionar un valor global de la tasa (A en t/ha y año) de las pérdidas de suelo previsible en una zona, sino en que sirve como herramienta para (figura 3):

1. Identificar las zonas en las que se genera mayor cantidad de sedimentos (a través de los valores A_i de áreas homogéneas en R, K, LS, C, y P)
2. Identificar las causas por las que se producen las pérdidas de suelos (a través de los valores de R, K, LS, C y P de cada área homogénea)
3. Implantar las medidas de conservación más adecuadas para reducir las pérdidas de suelo por erosión hídrica laminar y entre-regueros.

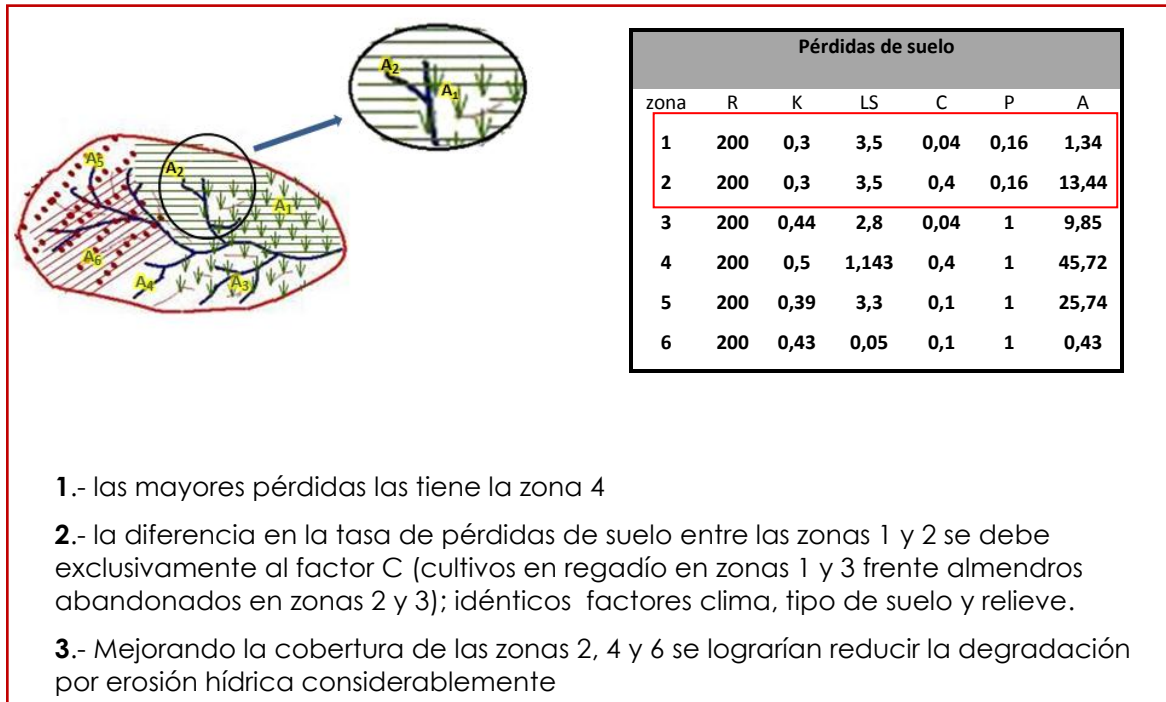


Figura 3.- Ejemplo de aplicación de la USLE

4.2 Factor R o factor de erosividad de la lluvia

Este factor representa la capacidad de la lluvia para producir erosión. Se calcula en base a la energía cinética de la precipitación, que es en definitiva la energía capaz de desagregar el suelo en las partículas individuales que posteriormente serán transportadas por la salpicadura o por la escorrentía.

De forma similar a otras variables representativas del clima de una zona (como la cantidad de lluvia), el valor del factor R es anual y se determina por suma de los valores R_i de cada una de las precipitaciones ocurridas en la zona durante el año. El cálculo de R_i se realiza a partir de la energía e intensidad de las precipitaciones de la zona:

$$R = \sum R_i \quad \text{siendo } i = n^\circ \text{ de tormentas ocurridas en un año}$$

$$R_i = E I_{30} \quad \text{siendo}$$

R= factor erosividad

E= energía cinética de la tormenta

I_{30} = intensidad máxima registrada durante un intervalo de lluvia de una duración de 30'

$$E = f(I) \quad \text{(ecuación de carácter empírico), donde}$$

E es la energía cinética de la lluvia

I es la intensidad de la precipitación (mm/h)

El factor R calculado de esta forma responde a las características físicas de la lluvia: a mayor tamaño de gota mayor masa y mayor velocidad de caída; a mayor masa y velocidad, mayor energía cinética de impacto; a mayor energía cinética de impacto mayor desagregación; y, finalmente, a mayor desagregación más pérdidas de suelo.

Para determinar el factor R de una zona es imprescindible conocer la intensidad de las tormentas que allí se producen, información registrada en la banda del un pluviógrafo o del hietograma de la tormenta (Figura 3).

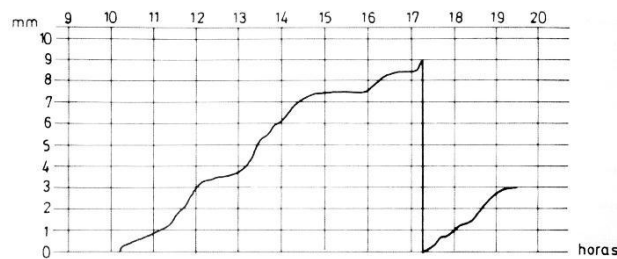


Figura 3.-Banda de registro de la cantidad de lluvia precipitada

4.3 Factor K o factor de erosionabilidad del suelo

El factor erosionabilidad del suelo o factor K expresa la susceptibilidad del suelo a sufrir pérdidas de suelo por erosión; es por tanto función de características edáficas tales como textura, estructura, estabilidad de agregados, pedregosidad superficial, etc.

El valor de K de la USLE se obtiene por medición directa en campo durante un año de las pérdidas ocasionadas por las lluvias en las condiciones normalizadas establecidas para las parcelas tipo USLE, indicando su valor las pérdidas anuales medias de suelo por unidad del factor R. En la práctica, para las estimas de gabinete su valor se determina a partir de un nomograma desarrollado por Wischmeier y Smith a partir de datos experimentales (Figura 4).

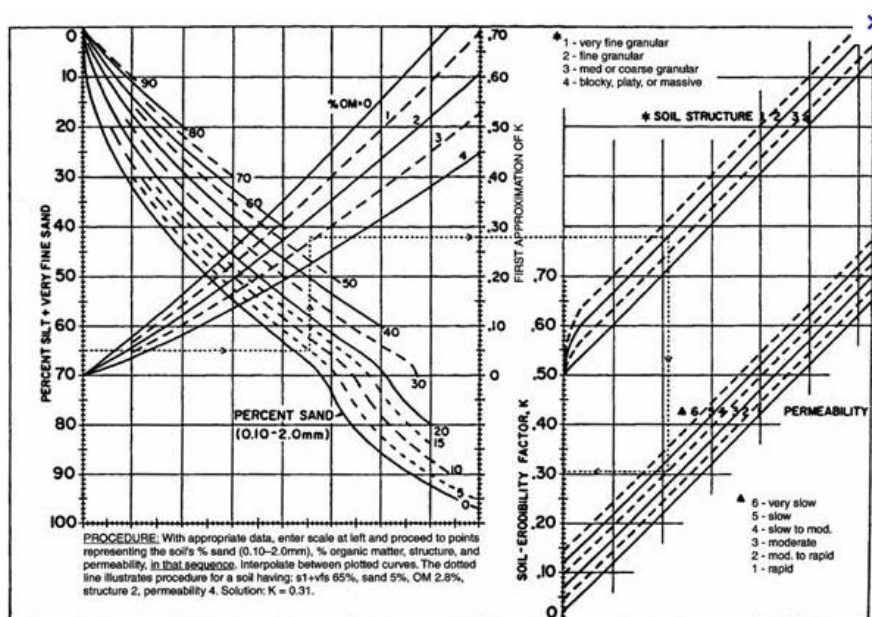


Figura 4.- Nomograma para la asignación del factor K, de Wischmeier y Smith

4.4 Factor LS o factor topogràfic

El factor conjunto LS responde al efecto combinado de la longitud y el ángulo de inclinación de la ladera sobre la que se están estimando las pérdidas de suelo. Al igual que como en el factor K, el nomograma que se utiliza para calcular el valor del factor LS se obtuvieron manteniendo las parcelas experimentales tipo USLE en las condiciones normalizadas del factor LS (figura 5).

Cuando las laderas son complejas o de pendiente irregular la forma de actuar será dividir la ladera en zonas de pendiente homogénea (cóncava, cóncava y/o compleja) y 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 técnicas alternativas de cálculo. 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), ambos muy bien descritos en el manual "Restauración Hidrológico Forestal y control de la erosión" realizado por TRAGSATEC (1994).

No obstante, la opción más adecuada es aplicar la USLE subdividiendo el territorio en laderas de características homogéneas.

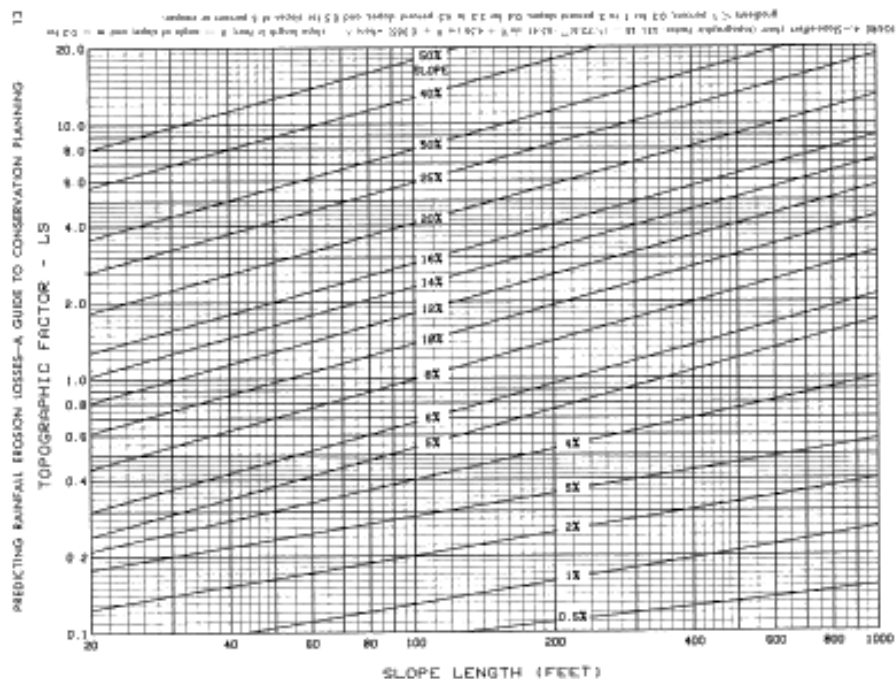


Figura 5.- Nomograma de Wischmeier y Smith para la asignación del factor LS

4.5 Factor C o factor vegetación

El factor C representa la efectividad de las plantas como cubierta protectora del suelo frente a la energía de impacto de las gotas de lluvia y la fuerza del flujo superficial. Su valor expresa la relación que existe entre las pérdidas anuales de suelo en una parcela



con una determinada cubierta vegetal y las pérdidas de esa misma parcela en condiciones de barbecho continuado y laboreo según la máxima pendiente.

Para la asignación del factor C es necesario conocer las prácticas agronómicas de los cultivos de la zona, puesto que el grado de protección ejercido por la vegetación puede variar a lo largo del año en función del ciclo vegetativo y de las labores agrícolas; así, por ejemplo, la cobertura del suelo difiere notablemente a lo largo de un año si las plantas pierden la hoja en alguna época del año, o si el ciclo vegetativo es muy corto y el agricultor sustituye un cultivo por otro.

Por lo tanto, los valores del factor C determinados experimentalmente por Wischmeier y Smith para las condiciones correspondiente a los cultivos y prácticas agrícolas habituales en los EEUU no son apropiados ni para otros tipos cultivos y manejos típicos de otras zonas, ni para cubiertas naturales. Es necesario utilizar tablas validadas más adecuadas para las zonas áridas y para aprovechamientos forestales.

En las publicaciones "Métodos de estimación de la erosión hídrica" editado por Agrícola Española en el año 1.994 y "Restauración Hidrológico Forestal y control de la erosión" de TRAGSATEC (1994) y se pueden encontrar diferentes tablas para la asignación del factor C en diversas condiciones de uso del suelo así como los valores asignados por Wischmeier y Smith (figura 6):

Nro. línea	Cultivo, alternativa, manejo (1)	Productividad (2)		Porcentaje de pérdida de suelo para cada periodo de cultivo (3)				4		
		Paja t ha ⁻¹	Grano m ³ ha ⁻¹	0	1	2	3(4)	L	R	L+WC
MAÍZ EN ROTACIÓN										
1^{er.} año maíz después gram.-leg. forraje										
1	Primavera TP cultivo normal	7-11	2,6 +	8	25	17	10	15	35	10
2	Primavera TP cultivo normal	4-7	2,6 +	10	28	19	12	18	40	11
3	Primavera TP cultivo normal	4-7	2,1-2,5	12	29	23	14	20	43	13
4	Primavera TP cultivo normal	2-4	2,1-2,5	15	30	27	15	22	45	13
5	Primavera TP cultivo normal	2-4	1,4-2,0	15	32	30	19	30	50	15
6	Primavera TP cultivo normal	2—	1,4-2,0	23	40	38	25	35	60	18
7	Primavera TP cultivo normal	2—	0,7-1,3	23	40	43	30	45	65	23
8	Primavera TP cultivo mínimo	7-11	2,6 +	8	8	6		15	35	10
9	Primavera TP cultivo mínimo	4-7	2,6 +	10	10	7		18	40	10
10	Primavera TP cultivo mínimo	4-7	2,1-2,5	12	12	8		20	43	13
11	Primavera TP cultivo mínimo	2-4	2,1-2,5	15	15	9		22	45	13
12	Primavera TP cultivo mínimo	2-4	1,4-2,0	15	15	11		30	50	15
2^o año maíz después gram.-leg. forraje										
13	RDL, Prim TP cultivo normal	7-11	2,6 +	25	48	37	20	40		14
14	RDL, Prim TP cultivo normal	4-7	2,6 +	32	51	41	22	26		15
15	RDL, Prim TP cultivo normal	4-7	2,1-2,5	35	54	45	24	28		15
16	RDL, Prim TP cultivo normal	2-4	1,4-2,0	42	53	49	28	42		21
17	RDL, Prim TP cultivo normal	2—	1,4-2,0	46	62	54	30	50		25
18	RDL, Prim TP cultivo normal	2—	0,7-1,3	55	66	60	35	65		33

Figura 6.- Ejemplo de asignación del factor C



4.6 Factor P o de medidas de conservación

El factor prácticas de conservación refleja la eficacia en el control de la erosión conseguida con la implantación de diferentes medidas conservacionistas. Las técnicas consideradas son el laboreo a nivel, el cultivo en fajas alternantes y el aterrazado (figura 7):

Pendiente (%)	Cultivo a nivel	Cultivo en fajas	Terrazas (1)	
			a	b
1-2	0.60 (L<400)	0.30	0.12	0.05
3-8	0.50 (L<200)	0.25	0.10	0.05
9-12	0.60 (L<120)	0.30	0.12	0.05
13-16	0.70 (L<80)	0.35	0.14	0.05
17-20	0.80 (L<60)	0.40	0.16	0.06
21-25	0.90 (L<50)	0.45	0.18	0.06

L= longitud de la ladera (en pies)
a= terrazas de desagüe encespadas
b= terrazas de infiltración con contrapendiente

Figura 7.- Valores del factor P (Wischmeier y Esmith, 1978)

En la aplicación del factor P debemos tener presente que los abancalamientos tan característicos de la Comunidad Valenciana y del resto de la vertiente mediterránea tienen, como norma general, una pendiente inferior al 0,2% por lo que no están contemplados en las tablas. En estos casos se recomienda asignar a P un valor de 1 y calcular el valor factor LS correspondiente a la inclinación y anchura de las plataformas de los abancalamientos.

5 Cierre

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es una herramienta adecuada para estimar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión de tipo laminar y en regueros.

Es una ecuación de tipo paramétrico que contempla los factores determinantes del proceso erosivo: agresividad climática, susceptibilidad del suelo a la erosión, influencia



de la longitud e inclinación de la pendiente, protección ofrecida por la cobertura vegetal y eficacia de las 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] Gisbert, J.M. e Ibáñez, S. 2003. Procesos erosivos en la provincia de Alicante. Generalitat Valenciana, Consellería de Medio Ambiente, 400 pp + 120 mapas
- [3] Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Reverté, 335 pp
- [4] ICONA. Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la USLE. M.A.P.A., 39 pp.
- [5] López Cadenas, F. (Coord.), 1994. Restauración hidrológico forestal y control de la erosión. TRAGSA - Mundi-Prensa, 902 pp
- [6] López Cadenas, F. (Coord.), 2003. La ingeniería en los procesos de desertificación. TRAGSA, 1045 pp

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- [7] 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>