



EL FACTOR C DE 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 el significado del factor C o factor cubierta vegetal 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.

La cubierta vegetal que sustenta el suelo es uno de los principales factores que determinan la respuesta del terreno frente a los episodios de lluvia. La vegetación intercepta las gotas de lluvia y protege los suelos frente a la acción erosiva del agua, pero ¿sabes qué tipo de cobertura es la más idónea? ¿influye la altura de las copas de los árboles en algo?

Mediante la modelización del proceso de erosión hídrica y la elaboración de ecuaciones de estima empíricas, como la USLE, se consigue plasmar las relaciones existentes entre los factores determinantes de la erosión y la tasa de suelo perdido.

2 Objetivos

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

- Evaluar la efectividad de la cubierta vegetal en el control de la degradación del suelo por causa de la lluvia
- Conocer las diferentes formas de obtener el valor del factor C
- Calcular el valor del factor C

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. Asignación del factor C
 - 4.1.1. Cultivos anuales
 - 4.1.2. Cultivos leñosos o de protección permanente
 - 4.1.3. Vegetación natural
5. Cierre
6. Bibliografía

Si seguimos todos estos apartados al final conoceremos la forma más idónea de asignarle a la cobertura vegetal un coeficiente que refleje su mayor o menor capacidad de frenar la acción erosiva del agua, consiguiendo por tanto superar los objetivos propuestos. No obstante y para poder llegar a entender el papel que juega



la vegetación debemos conocer cuáles son los mecanismos erosivos de la erosión por causa del agua, tanto por la lluvia directa como por la escorrentía.

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

El factor C de la USLE representa la efectividad de las plantas como cubierta protectora del suelo frente a la energía de impacto de las gotas de lluvia y a la fuerza del flujo superficial. Su valor expresa la relación que existe entre las pérdidas de suelo medias anuales de una parcela con una determinada vegetación y las pérdidas que esa misma parcela tendría en condiciones de barbecho continuado y laboreo según la máxima pendiente.

En el caso de zonas cultivadas, la asignación del factor C debe de realizarse en base a las prácticas agronómicas de la zona, puesto que el grado de protección ejercido por la vegetación varía a lo largo del año tanto en función del ciclo vegetativo como 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 planta diferentes cultivos durante el año.

En ambientes forestales, zonas de pasto o áreas de matorral adquieren gran importancia otros aspectos, como la altura de la copa o las variaciones estacionales en la producción de hojarasca u otro tipo residuo.

En todo caso siempre es necesario utilizar tablas validadas para las condiciones específicas de vegetación y manejo de la zona de estudio.

4.1 Asignación del factor C

4.1.1 Cultivos anuales

Cuando la tierra se dedica a cultivo, la protección del suelo por la vegetación puede llegar a ser muy variable lo largo del año, cambiar de un año a otro (caso de las rotaciones) o incluso tener valores diferentes para un mismo cultivo según sea la zona de la que se trate (por ejemplo, zonas regadío frente a otras de secano).

Además, la protección que ofrece una misma cobertura de plantas tampoco resulta igual de eficaz para todas las lluvias; así, por ejemplo, podría ocurrir que la erosión producida por una lluvia de intensidad X en un suelo protegido al 40% sea la misma que la de una tormenta de intensidad 2X caída en ese mismo lugar cuando la cobertura del suelo era sólo del 20%.

Y puesto que el factor C de la USLE indica el porcentaje de pérdidas de suelo que se produce en un lugar en relación a las pérdidas que ocurrirían si ese mismo suelo estuviera en condiciones de barbecho (es decir, desnudo), debe calcularse a partir de los valores medios correspondientes a cada estación o periodo de cultivo, tipo de cultivo y nivel de erosividad de la lluvia.



En las tablas proporcionadas por Wischmeier y Smith (figura 1) se contemplan 5 periodos significativos:

0. Labores preparatorias (suelo desnudo)
1. Desde la siembra hasta el inicio de la nascencia (suelo desnudo)
2. Período de consolidación o establecimiento del cultivo (suelo poco protegido)
3. Período de máximo desarrollo o vegetativo (protección máxima)
4. Desde la recolección hasta la siguiente siembra (suelo desnudo, sembrado o protegido por rastrojo)

A cada periodo vegetativo le corresponde un valor de C, que deberemos multiplicar por la parte de R acumulado durante ese periodo (la obtendremos a partir de la curva acumulativa de distribución de la erosividad o factor R de la zona).

Obtenidos los Ci correspondientes a todos los periodos, el valor que utilizaremos en la USLE se obtiene realizando el promedio, utilizando el tiempo de duración de cada periodo como factor de ponderación:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i C_i}{12}, \text{ donde } t \text{ está expresado en meses}$$

Nro. línea	Cultivo, alternativa, manejo (1)	Paja t ha ⁻¹	Grano m ³ ha ⁻¹	% de las pérdidas para correspondiente a cada periodo						
				0	1	2	3(4)	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	RDI Prim TP cultivo normal	2—	1,4-2,0	46	62	54	30	50		25
L= con residuos de cosecha + sin siembra invernal R=sin residuos de la cosecha WC= gramíneas y leguminosas durante el invierno										

Tabla 1.- Ejemplo de valores de % de pérdida de suelo para diferentes cultivos y manejos de EEUU (Wischmeier y Smith 1978, fuente: ICONA)



En España, al no disponer de una base de datos a nivel nacional, con los resultados de las medidas de pérdidas de suelo en parcelas de erosión, la información está mucho más dispersa y es difícil de encontrar.

Lo más habitual es utilizar valores medios anuales (figura 2)

Cultivos de secano	C anual	Cultivos de regadío	C
Trigo / avena	0,38	Algodón / algodón	0,29
Trigo / barbecho	0,44	Algodón / trigo	0,17
Trigo / garbanzos	0,60	Algodón / remolacha	0,21
Trigo / cebada	0,57	Algodón / maíz	0,51
Trigo / girasol	0,55	Algodón / girasol	0,49
Trigo / habas	0,31	Maíz / maíz	0,53
Trigo / remolacha	0,29	Maíz / remolacha	0,45
Cebada / girasol	0,63	Tabaco / tabaco	0,53
Cereal / cereal	0,31	Cereal / girasol	0,36
Cereal / barbecho	0,40	Patata / girasol	0,36
Cereal / girasol	0,70	Patata / sandía	0,36
Algodón / algodón	0,14	Arroz / arroz	0,04
		Hortalizas	0,04

Figura 2. Ejemplo de valores del factor C de la USLE para Andalucía

4.1.2 Cultivos leñosos o de protección permanente

En el caso de los cultivos leñosos –y en algún caso incluso en herbáceos- es frecuente utilizar un mismo valor del factor C para todo el año (figura 3), aún cuando la protección del suelo sí varíe realmente a lo largo del año como consecuencia del manejo (laboreo, podas, etc.) o el propio desarrollo de la planta (caídas de hojas, floración, etc.).

Los valores empleados son una adaptación de los originales de Wischmeier y Smith se asume que el error cometido es bajo, y de esta manera se facilita mucho el cálculo (figura 3).

Cultivo	Valor C anual
Olivar	0,4
Viñedo (asimilado a cultivo con volteo en otoño y productividad elevada)	0,54
Almendros y otros de hoja caduca (asimilado a cultivo con volteo en otoño y productividad elevada)	0,54
Cítricos (asimilado a árboles con 75% de cubierta cubierta)	0,041
Caña de azúcar	0,04
Arroz	0,038
Hortalizas	0,040

Figura 3.- Valores del factor C

4.1.3 Vegetación natural

Cuando el terreno no se encuentra destinado a cultivo las particularidades a tener en cuenta a la hora de determinar la protección ofrecida por la vegetación son muchas y variadas:

- Existencia de restos vegetales (% de suelo cubierto y % de materia orgánica)
- Cobertura por sotobosque (% de suelo protegido)
- Desarrollo radicular del sotobosque (denso y superficial, o escaso y vertical)
- Cobertura de las copas (% de suelo cubierto)
- Altura de las copas
- Duración del periodo sin hojas
- Pastoreo (intensivo o extensivo)
- Efecto residual de prácticas anteriores (meses desde el último cultivo, preparación del terreno, etc.)
- Acumulación de sedimentos (microtopografía en escalones)
- Otras

Cabe citar los siguientes métodos específicos para terrenos baldíos, dehesas, pastos y bosques:

Wischmeier y Smith

a) Utilizar 3 subfactores (figuras 4 y5):

- CI. Efecto de la cubierta vegetal aérea
- CII Efecto de los residuos y de la cubierta en contacto con el suelo
- CIII. Efecto residual de la vegetación

$$C = C_I C_{II} C_{III}$$

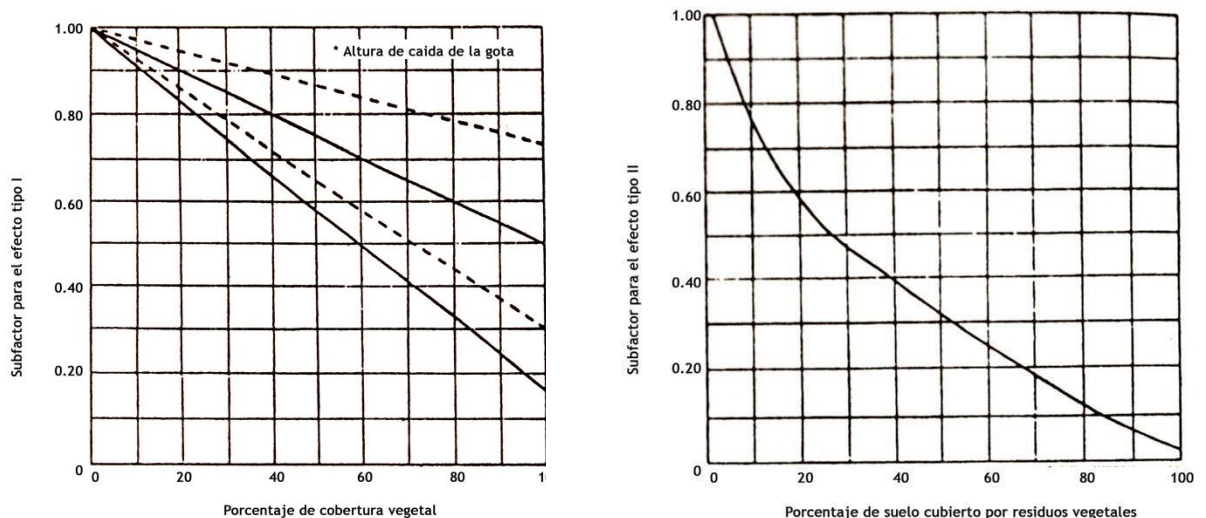


Figura 4.- Valores de los subfactores C_{ii} y C_{II}

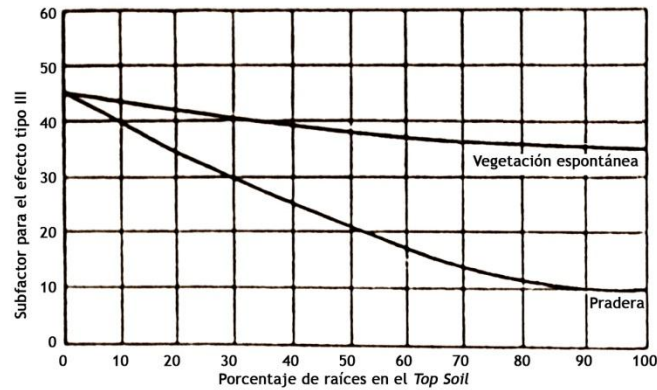


Figura 5.- Valores del subfactor CIII

b) **Cálculo directo** (figura 6):

Cobertura aérea			Cobertura superficial % suelo cubierto (% SC)					
Tipo y altura	% SC	Tipo	0	20	40	60	80	>95
Ninguna	0	G	0,45	0,20	0,1	0,042	0,012	0,003
	0	W	0,45	0,24	0,15	0,091	0,043	0,011
H≈0,5 m Herbáceas y matorral	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,013	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		W	0,26	0,16	0,11	0,076	0,039	0,011
	75	G	0,17	0,1	0,06	0,032	0,011	0,003
		W	0,17	0,12	0,09	0,068	0,038	0,011
H=2 m Arbustos y matorral	25	G	0,40	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
		W	0,4	0,22	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	G	0,34	0,16	0,08	0,038	0,012	0,003
		W	0,34	0,19	0,13	0,082	0,041	0,011
	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		W	0,28	0,17	0,12	0,078	0,040	0,011
H≈4 m Arbolado sin sotobosque	25	G	0,42	0,19	0,1	0,041	0,013	0,003
		W	0,42	0,23	0,14	0,089	0,042	0,011
	50	G	0,39	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
		W	0,39	0,21	0,14	0,087	0,042	0,011
	75	G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,013	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,084	0,042	0,011

G= suelo con cubierta vegetal de sistema radicular denso o con elevado contenido de m.o.
W= suelo con vegetación espontánea con escaso desarrollo horizontal de raíces

Figura 6.- Factor C de Wischmeier y Smith para suelos con vegetación natural



Dissmeyer y Foster (figura 7)

$$C = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 C_6 C_7 C_8 C$$

C₁=porcentaje de suelo desnudo, sin vegetación directamente contactando

C₂= cobertura aérea de las copas

C₃= reconsolidación del suelo desde la última labor

C₄=contenido en materia orgánica (> 4%)

C₅= características del sistema radicular

C₆= efecto residual del uso anterior

C₇= capacidad de acumulación de sedimentos por efecto de microdepressiones

C₈= influencia de la microtopografía en escalones

C₉= influencia de la desviación de las líneas de roturación con respecto a las curvas de nivel

Altura de la copa (m)	% de suelo cubierto por las copas										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,5	1	0,91	0,83	0,74	0,66	0,58	0,49	0,41	0,32	0,24	0,16
1	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,51	0,44	0,37	0,30
2	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
4	1	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76	0,74
6	1	0,98	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,85
8	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92
16	1	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 7.- Ejemplo de asignación de subfactor para la metodología de Dissmeyer y Foster (Adaptado por Almorox)



De uso en España (figuras 8)

FACTOR C	
TIPO DE CUBIERTA	FACTOR C
Arbolado forestal denso	0,01
Arbolado forestal claro	0,03
Matarral con buena cobertura	0,08
Matarral ralo y enrales	0,2
Cultivos arbóreos y viñedos	0,4
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Cultivos en regadío	0,04

Fuente: ICONA, 1982

FACTOR C			
% Cobertura	Factor C	% Cobertura	Factor C
5	0,807	50	0,045
8	0,600	55	0,034
10	0,613	60	0,023
15	0,466	65	0,017
20	0,319	70	0,012
25	0,242	75	0,009
30	0,166	80	0,006
35	0,129	90	0,003
40	0,086	100	0,001
45	0,065		

Fuente: Rubio et. Al., 1984

Figura 8.- Tablas de valores del factor C anual de uso más habitual en España

5 Cierre

El factor C responde a la naturaleza y características de la vegetación. Su determinación contempla aspectos tales, en caso de los cultivos, como la rotación de cultivos, los periodos sin follaje, o la roturación de los campos; y, en el caso de zonas



con cobertura natural, la altura de las copas, la incorporación de residuos orgánicos, o la conformación del sistema radicular del sotobosque.

Cuanta más exhaustiva sea la información que poseamos sobre el uso del suelo y su manejo, más se ajustará el valor que le asignemos al factor cubierta vegetal de la USLE a la función real de las plantas como cobertura de protección frente a la capacidad erosiva de la lluvia.

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

[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] Dpto. Edafología. Universidad de Granada, en:

<http://edafologia.ugr.es/gestionsuelos/grupoa/tema5.pdf>

[7] Clérico y García Préchac, 2001. En:

<http://www.fagro.edu.uy/~agrociencia/VOL5/1/p92-103.pdf>

[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>