

# CONSIDERACIONES A LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO

FEDERICO JOVER FERNANDEZ DE BOBADILLA (\*)

**RESUMEN.** Se analizan los factores de la ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO, intentando profundizar en la filosofía de sus creadores y de esa forma eliminar algunas de las diferencias existentes entre los fenómenos de erosión medidos y los calculados. Para ello se estudia hasta qué punto son aplicables los factores de la USLE a los suelos forestales. Se analizan los valores permisibles de pérdidas y su correlación con los valores medidos, analizando asimismo las mediciones de erosión y sedimentación hechas con ayuda del 137-Cs.

**ABSTRACT.** *Factors of the UNIVERSAL EQUATION OF SOIL LOSS are analyzed in an attempt to get deeper into the philosophy of its creators and thus eliminate some of the differences that exist between the erosion phenomena measured and those calculated. So the point to which USLE factors are applicable to forest soils, is studied. The loss values permitted together with measured values analyzed, erosion measurements and sedimentation carried out with the aid of the 137-Cs are analyzed.*

Uno de los primeros intentos de cuantificar las pérdidas de suelo debidas a la erosión es el realizado por W. H. WISCHMEIER y SMITH, en la década de los cincuenta. Hasta el año 1965 en que se da a conocer el método, los autores realizaron experiencias y medidas en más de 10.000 parcelas, las pruebas y mediciones han seguido hasta el momento actual, suponiendo que no se hayan cerrado los programas.

Este cúmulo de datos permite asegurar la alta fiabilidad de la ecuación USLE siempre que se aplique dentro del entorno para el que ha sido ideada.

Precisamente, uno de los defectos que le atribuye a este sistema la escuela sudafricana es el tremendo esfuerzo investigador que precisa para empezar a tener datos fidedignos que permitan hacer estudios serios en una región sin emplear los datos de otras. Sin embargo, se considera que, dentro de una aproximación y para la mayor parte de los estudios que se hacen, puede resultar legítimo extrapolar los datos de otras experiencias, siempre que las condiciones sean análogas. No obstante, la extrapolar de las condiciones del entorno (tamaño de parcela, pendiente, etc.) puede llevar a resultados desproporcionados.

En estas líneas se tratará de definir los conceptos o valores que se pueden extrapolar y cuáles

pueden ser las principales limitaciones para la aplicación de la ECUACION DE PERDIDA DE SUELO.

Como es bien sabido, la USLE calcula la pérdida de suelo como el producto de seis factores, unos dimensionales y otros adimensionales:

- R, índice de erosión pluvial
- K, factor de erosionabilidad del suelo
- L, longitud de la ladera
- S, pendiente
- C, factor de cultivo
- P, prácticas de cultivo

Se considera que tanto el factor de cultivo como el de prácticas de cultivo se pueden extrapolar, con un valor medio parecido y una desviación análoga.

Lo mismo se podría decir del valor de R, que tiene dos componentes de significado diferente:

Por una parte, hay que considerar la E (energía cinética del aguacero); se entiende que si la correlación es alta para este componente, no parece que haya ninguna razón para que dicha correlación no sea equivalente en otra zona, ya que parece que hay una interacción casi directa entre la intensidad de precipitación y la energía.

Algo diferente parece ocurrir con el factor  $I_{30}$ , que intenta relacionar el tamaño de la gota con la intensidad de precipitación en treinta minutos, lo que da lugar a una primera desviación en los resultados. Desviación que ha obligado a los investi-

\*I. Dr. Ingeniero de Montes. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

gadores a indicar que la ecuación, estudiada en principio para tormentas o aguaceros individualizados, sólo se puede aplicar a períodos anuales en los que las variaciones de energía a lo largo de los diferentes fenómenos van compensando las desviaciones.

En cualquier caso, y salvo investigaciones más detalladas para cada zona, se puede pensar en aplicar los resultados obtenidos de las ecuaciones USLE para el valor de  $R$ . Aunque parece legítimo pensar que en climas áridos el tamaño de la gota puede ser mayor que en climas húmedos a igualdad de precipitación debido a la mayor brevedad de los chaparrones.

Los factores  $L$  y  $S$  son los que nos determinan el entorno que se estudia:

La pendiente, de acuerdo con la técnica del USLE, tiene que ser uniforme, hasta el punto de que hay estudios que analizan la variación de la pérdida de suelo para la misma pendiente media pero distinta forma del terreno. Esto indica que la utilización de pendientes medias tal y como se calcula normalmente en las aplicaciones extensivas del USLE por medio de las curvas de nivel, o cualquier otro método simplificador, nos llevará a índices analógicos o cualitativos, pero ya no se puede decir en rigor que se están haciendo estimaciones cuantitativas, puesto que nos hemos salido de la propia filosofía del método. Por otra parte, a partir de los datos disponibles, se ve que hay una gran fiabilidad cuando las parcelas tienen bajas pendientes: el exponente  $m$  del factor  $L$  en la composición del Factor Topográfico es 0,2 para pendientes menores de 1%; 0,3 para valores comprendidos entre el 1% y 3%; 0,4 para valores comprendidos entre el 3% y el 5%, y del 0,5 para valores superiores al 5%. Se indica expresamente que la ecuación base no se adapta suficientemente para valores de pendientes muy acusadas, indicando como pendiente acusada el 10% para longitudes de más de 350 m y el 30% para cualquier tipo de longitud. Este tipo de pendientes prueba el carácter eminentemente agrícola de la ecuación, cuyo transporte al campo forestal (mayores pendientes) debe ser únicamente a efecto de cálculos cualitativos.

El segundo término del factor topográfico, la longitud de ladera, está estudiado con unidades de 22,1 m, luego el paso a longitudes de 350 m o mayores tiene que dar lugar a grandes dispersiones, como ya reconocen los propios autores. En las parcelas forestales es muy difícil el cálculo de la longitud de ladera, que viene interrumpida por diferentes accidentes de difícil consideración en la metodología empleada. Efectivamente, las parcelas

investigadas por WISCHMEIER eran uniformes, con suelo profundo en toda su longitud, sin embargo una gran proporción de los suelos forestales presentan unas acentuadas discontinuidades en su superficie que sin duda modifican el concepto de longitud de ladera, reduciéndolo de algún modo. Esto supone una nueva causa de error en los cálculos cuantitativos de la pérdida de suelo. Por otra parte, a medida que aumenta la longitud real de la parcela es menos probable que exista una determinada pérdida de suelo, ya que gran parte del suelo erosionado queda en la propia parcela. Así se deduce de los trabajos realizados por D. E. WALLING, S. B. BRADLEY y C. J. WILKINSON en la cuenca agrícola de YENDACOTT en Devon en el Reino Unido, con una superficie de 120 Ha:

*«Se tomaron unas parcelas de seis a ocho hectáreas de superficie y se hizo el balance de pérdidas y ganancias de 137-Cs entre los años 1955 y 1985, sin entrar en detalles de la técnica empleada, se llegó a la conclusión que la erosión media fue de 18,3 Tm/Ha, de las cuales 9,5 Tm/Ha se depositaron dentro de la misma parcela en la que se produjo la erosión, 8,2 Tm/Ha se depositaron en el borde de la parcela o fuera de la parcela pero dentro de la cuenca, y sólo el 3,5 % de la erosión producida salió de la cuenca en forma de sedimento.»*

Esto indica la importancia del factor escala y el bajo desplazamiento que en muchos casos se produce en los arrastres incluso a lo largo de períodos de casi treinta años, al mismo tiempo da una primera explicación de las diferencias entre las pérdidas de suelo calculadas con ayuda de las USLE y los arrastres medidos en los embalses.

Por último, el factor  $K$ , igual que los anteriores, se ha estudiado para suelos agrícolas y al generalizar a suelos forestales no se tienen en cuenta, generalmente, dos cuestiones:

- A. Toda la superficie forestal no es erosionable.
- B. La capa de suelo no es indefinida.

El primer apartado nos obliga a observar toda la superficie cubierta de piedra suelta, más o menos gruesa, que no se incluye en el valor  $M$  del factor, pero impide la erosión, tanto en forma de arrastre por regueras como por percusión de las gotas, en una parte importante de la superficie.

El segundo apartado nos impide generalizar los resultados cuando las pérdidas teóricas de suelo son superiores a las existencias del mismo, dentro de las características calculadas para la superficie.

Estas dos observaciones suponen, en general, una importante minoración de las pérdidas de suelo real, en comparación con las obtenidas de la

# AGUA

# VIVA



El agua padece múltiples agresiones contaminantes  
en su recorrido natural.

Es imprescindible que llegue al usuario con  
el tratamiento adecuado.

CADAGUA está presente allí donde se exige la mejor agua.



Depuradora de Butarque - Madrid

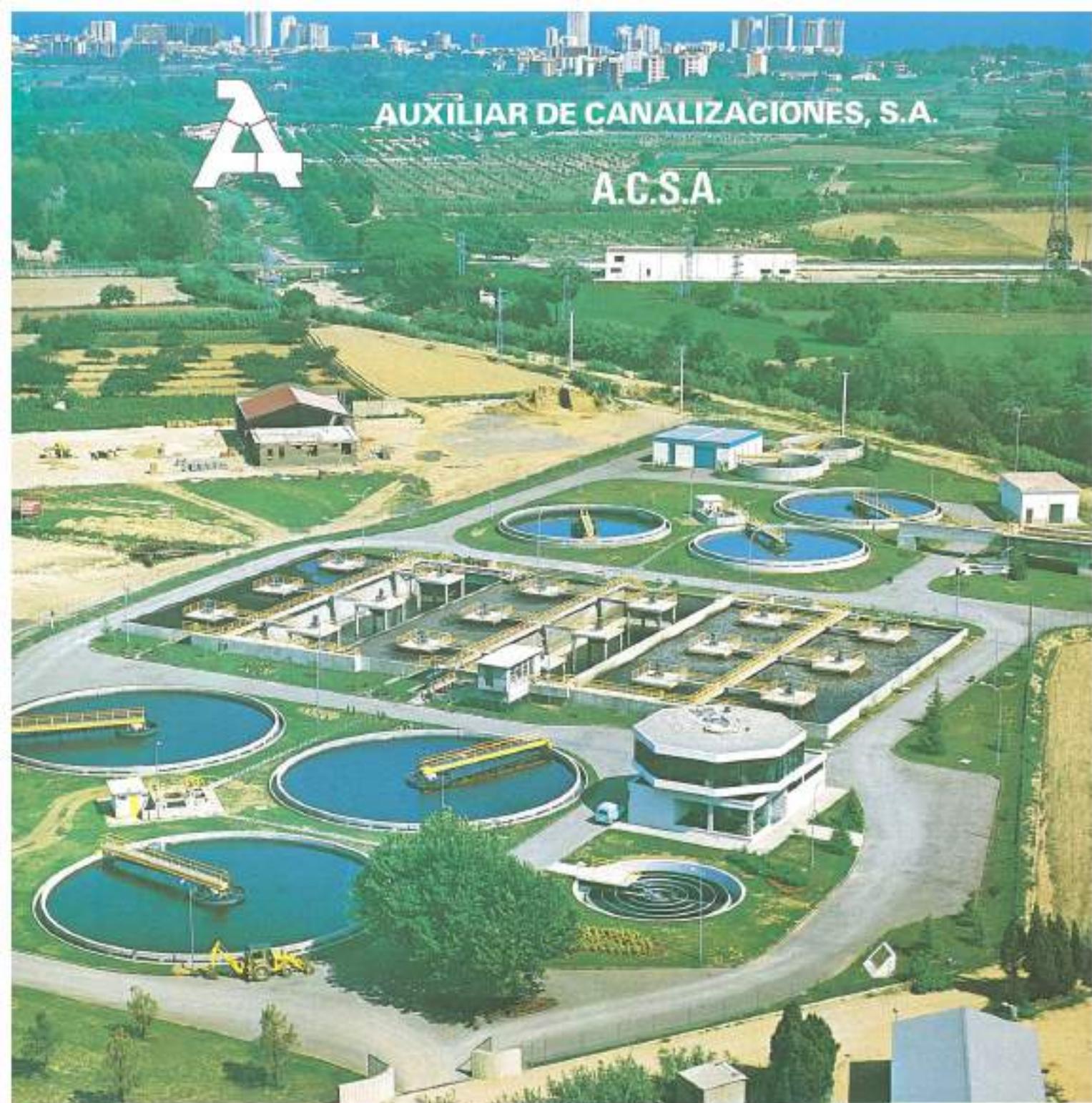


**cadagua, s.a. Damos vida.**



**AUXILIAR DE CANALIZACIONES, S.A.**

**A.C.S.A.**



**Abastecimientos de agua, Depósitos**  
**Estaciones depuradoras, Redes de saneamiento**  
**Emisarios submarinos**  
**Gasoductos**  
**Conservación de redes**  
**Galerías, defensas de cauces, muros de contención**  
**Instalaciones de bombeo y pavimentaciones**

**Central:**

Manso Casanovas, s/n.  
Tel.: 236 87 00 – 08026 BARCELONA

**Oficina:**

Marqués de la Ensenada, 14  
Tel.: 410 15 50 – 28004 MADRID

**Delegaciones:**

Brasil, 19 – Tel.: 70 52 16  
46003 VALENCIA  
Escultor Galmes, 2 – Tel.: 29 25 24  
07004 PALMA DE MALLORCA  
Camino de Purchill, s/n.  
(Fte. Molino La Torrecilla)  
Tel.: 257 56 62 – GRANADA

aplicación directa de la USLE. No se ha encontrado ningún coeficiente, en la primitiva ecuación, que tome en cuenta de una forma explícita los casos arriba descritos: se reafirma que la ecuación USLE se refiere a suelos agrícolas y profundos.

Una vez que hemos visto las limitaciones de la ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO habrá que analizar también la clasificación de los fenómenos erosivos dada conjuntamente por la FAO, PNUMA y UNESCO, expuesta a continuación, a la vista de la cual volvemos a pensar que se refiere a suelos agrícolas y ricos, ya que está basada en lo anterior, por lo que no se debe emplear para estimar el fenómeno en cuencas áridas y degradadas.

La clasificación citada es la siguiente:

CLASE	PERDIDAS (Tm/Ha)	EROSION
I	< 10	Ligera
II	10 - < 50	Moderada
III	50 - < 100	Acusada
IV	100 - < 200	Alta
V	> 200	Muy alta

Esta clasificación nos lleva a unas líneas generales de valoración de la erosión sin ninguna limitación edafogénica, es decir que tendrá el mismo valor la pérdida de una tonelada de suelo en climas húmedos que en climas áridos.

Si seguimos a Wischmeier, y dentro de su filosofía agrícola, vemos que preconiza unas pérdidas de 12,5 Tm/Ha como máximo, si bien hace la salvedad de que se trate de suelos profundos, de textura media, permeabilidad moderada y subsuelo favorable a la vida de las plantas.

Hudson da para suelos arenosos-profundos pérdidas admisibles de 4 a 6 Tm/Ha y para suelos francos profundos y fértiles propone de 13 a 15 Tm/Ha.

Los mapas de estados erosivos indican: «Para suelos agrícolas se dan valores de 4-6 Tm/Ha/año en suelos arenosos poco profundos, de 6-8 Tm/Ha/año en suelos entre arenosos y arcillosos y de 12,5 Tm/Ha/año y mayores para suelos arcillosos, profundos y fértiles.»

Si miramos el problema desde el punto de vista de la desertización, es obvio que el valor no es el mismo: en los climas húmedos se está perdiendo parte del suelo que fácilmente se regenerará, en los climas áridos tardará siglos en regenerarse el suelo perdido. Las cuatro clasificaciones anterior-

res, aunque para terrenos agrícolas, tienen en cuenta de forma implícita la capacidad de regeneración del suelo.

Es de todos conocido que la citada velocidad de generación del suelo esta en función de las características de la roca madre, del espesor de la propia capa de suelo preexistente y del clima. Si suponemos que en climas áridos y suelos esqueléticos la generación del suelo a lo largo de un año puede ser del orden del medio milímetro o menos, perder 10 Tm por Ha puede ser superior al suelo generado. Si el suelo es esquelético no se perderán las 10 Tm por la sencilla razón de que no existen, pero si tenemos un resto de suelo toda erosión superior a la generación de suelo supone una degradación irreversible y, por tanto, un paso hacia la desertización de la zona.

Para los terrenos con peligro de desertización habrá que calcular la generación potencial de suelo pura cada situación y estimar la erosión potencial en función de un tanto por ciento de la generación de suelo, ello nos llevará a estimar como muy importantes erosiones con bajos valores absolutos, mientras que otras, con altos valores absolutos, sean perfectamente compatibles con la estabilidad del sistema.

Naturalmente quedan fuera de este análisis otras consideraciones importantes como el aterramiento de los embalses, deterioro de las obras públicas, inundación de poblaciones, etc., que están más relacionadas con el volumen bruto de acarreo que con la desertización de la zona. Para el estudio de estos problemas habrá que considerar, además de volumen de arrastre producidos, la distancia desde el origen de los acarreo a la obra que se pretende proteger, ya que como se explica en los trabajos de D. E. WALLING, la mayor parte de los arrastres se depositan a corta distancia del lugar donde se generaron. Hay que tener en cuenta, naturalmente, que la influencia de esa distancia será más o menos grande en función de la pendiente del terreno y de las características hidráulicas de la cuenca y del cauce.

Como resumen de estas líneas se pueden inferir tres caminos de actuación:

1. La ecuación USLE no se deberá emplear en los estudios de erosión forestal nada más que como indicadora cualitativa de las capacidades de pérdida de suelo, pero no para cuantificarlas.
2. Sería necesario profundizar en los estudios de capacidad de regeneración del suelo en las regiones con riesgo de desertización, con el fin de fijar los límites admisibles de pérdida real de suelo compatible con el control de erosión.
3. Incluir para suelos no modificados un coeficien-

te de COHESION que exprese la relación de pérdida de suelo entre el suelo natural y el barbecho.

**BIBLIOGRAFIA**

MINTEGUL, J. A. «La restauración hidroológico-forestal y las áreas dominadas.» Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 1985.  
WALING, D. E., BRADLEY, S. B., y WILKINSON, C. J. «A Caesium-137 budget approach to the investiga-

tion of sediment delivery from a small agricultural drainage basin in Devon, UK.» Department of Geography University of Exeter UK. IAHS Publication No 159. 1986.

«Mapas de estados erosivos.» Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 1987.

«Metodología para la evaluación de la erosión hídrica.» MOPU. Dirección General de Medio Ambiente. Madrid, 1985.