

DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA Y QUIMICA AGRICOLA.  
UNIVERSIDAD DE GRANADA

BALANCE DE EROSION HIDRICA EN LOS SUELOS DE LA VERTIENTE  
NORTE DE SIERRA NEVADA (PROVINCIA DE ALMERIA)

Lozano, F. J.; Martínez, F. J.; Sierra, C. y Ortega, E.

RESUMEN

En el estudio se cuantizan las pérdidas potenciales de suelo que se producen en un área piloto de la vertiente norte de Sierra Nevada (Provincia de Almería), como consecuencia de la erosión hídrica.

Los cálculos se han efectuado utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), realizando un análisis detallado de los distintos factores que intervienen en la misma.

Los resultados de pérdida potencial de suelo expresados en t/ha/año, nos revelan que ésta es ligera o nula en la práctica totalidad del territorio, salvo en áreas puntuales o cultivadas en las que las pérdidas son moderadas.

SUMMARY

In this study the authors quantify the potential soil loss produced in a pilot area of north Sierra Nevada (Almería province), as a consequence of water erosion.

Calculation was carried out by means of USLE, making a detailed analysis of the several factors that influenced it.

Results on soil potential loss, expressed as t/ha/year and mm/year led us to assesses it is slight or nule trough practically all the territory, except on certain little areas where it is moderate.

INTRODUCCION

La importancia del fenómeno erosivo en el sureste de la Península Ibérica, como pone de manifiesto ICONA (1.982), nos lleva a completar el trabajo de Martínez et al. (1987), que evalúa el índice de degradación de los suelos de un área piloto del extremo más oriental de Sierra Nevada, en su cara norte.

El área del presente trabajo ocupa una parte importante de las últimas estribaciones de Sierra Nevada. Discurre ésta de Oeste a Este y muestra en su parte central la

divisoria de aguas de Sierra Nevada, donde destaca: El Cerro del Rayo de 2.405 m y el pico Polarda con 2.252 m. A partir de ella y en su vertiente norte, decrece rápidamente la altitud hasta llegar a la cota de los 1.400 m. Este hecho, ligado a la naturaleza del material geológico (micasquistos) condiciona la típica morfología del terreno.

El factor relieve, crítico en las zonas muy escarpadas provoca, el constante rejuvenecimiento de los suelos al acentuar el efecto de la erosión hídrica de ahí la presencia de suelos muy someros: Leptosoles eútrico lépticos. En las partes apicales, (frío y humedad), favorecen la presencia de una vegetación propia del piso Oromediterráneo. A este piso corresponde potencialmente una vegetación climax de coníferas de montaña mediterránea, pero en la actualidad sólo queda un matorral postrado de enebros y piornos, que frena considerablemente los efectos erosivos y favorece el desarrollo de los suelos, permitiendo la aparición de unidades edáficas más evolucionadas tales como: Regosoles distrícos, asociados a Cambisoles distrícos y Leptosoles úmbricos.

Por debajo de los 1.400 m las pendientes se suavizan hasta llegar a una cota media de 1.000 m por la que discurre el Río Abruca. Aquí el clima se torna de moderadamente árido a árido, de acuerdo con los criterios de clasificación de Faniran et al. (1.978), destacando que el clima es muy seco todo el año y sólo en invierno la P es ligeramente mayor que la Etp; (las lluvias caen en forma muy irregular y a veces de forma tumultuosa), favoreciendo la pérdida de suelo y causando el acarcavamiento de la zona.

Observamos en este área una acción antrópica caracterizada por una intensa repoblación forestal con diferentes especies de pinos, dispuestos en pequeñas paratas que siguen las curvas de nivel. Las roturaciones con fines agrícolas son escasas y están dedicadas al almendro.

De las tres zonas descritas sólo evaluamos la incidencia potencial de la erosión hídrica en las extremas, dejando la intermedia porque se trata de canchales y afloramientos rocosos donde sólo se conservan restos de suelo en las oquedades o en los pequeños rellanos.

En los escarpes superiores la topografía pierde agresividad y hay un tránsito hacia la ladera Sur, de pendiente más gradual y larga que la de la cara Norte (Fig. nº 1). Aquí hemos definido dos unidades de suelos estando representados los pedones por su perfil modal (nº 21 y 22).

La parte baja se analiza más en detalle (perfiles nº 1-5 y 12-14), porque representan mejor las características generales de la comarca.

Incluimos el perfil nº 34, que nos sirve para delimitar la influencia que la labranza pueda tener en la pérdida de suelo.

En el presente trabajo calculamos el efecto de la erosión hídrica evaluando la pérdida potencial de suelo dentro del área experimental elegida.

## MATERIAL Y METODOS

Partimos de las descripciones y datos analíticos dados por Martínez, J (1986) y Ortega et al. (1986) para los suelos de la zona.

La metodología empleada es la propuesta por FAO para el desarrollo de la USLE.

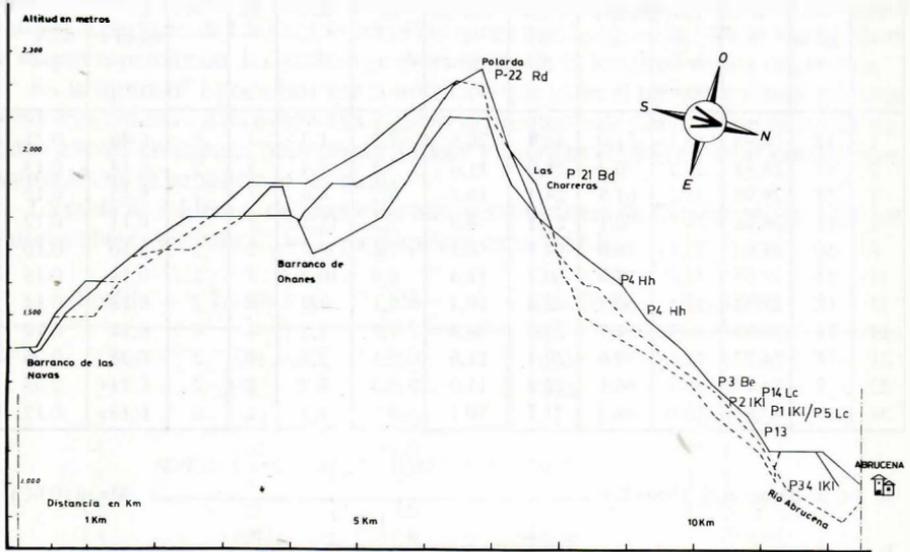


Figura 1.- Corte en proyección entre Abrucena y el Barranco de las Navas.

Los cálculos se han realizado para los 25 cm. superiores del suelo, tomando en aquellos casos en los que el epipedon no alcanza esta profundidad, la suma de los horizontes superiores hasta completar esa profundidad, y en aquellos casos donde no es posible se llega hasta la roca madre.

El factor R se ha determinado a partir de la fórmula de Fournier modificada FAO, (1980). El factor K mediante el uso de la fórmula de Barnet et al. (1966) equivalente al nomograma de Wischmeier ( $K_1$ ) y ( $K_2$ ) por la de Wischmeier y Mannering (1969).

El factor topográfico LS, mediante la ecuación de Williams y Bernt, tomada de Kirkby y Morgan (1984); cuando las pendientes son irregulares, sobrepasando el 20% de inclinación, utilizamos la fórmula de U.P.M. CEOTMA, ICONA, (1981).

El parámetro C se determina por dos vías, una a partir de los nueve subfactores de Dissmeyer y Foster (1981) ( $C_1$ ) y la otra por la ecuación de Wischmeier (1976) ( $C_2$ ).

El factor P en aquellos casos en que se tomaron medidas de protección del suelo, se calculó a partir de la fórmula de Wischmeier y Smith (1978).

## CALCULO DE LA PREDICCIÓN DE LA EROSION

Para establecer mejor los riesgos de desertización y desertificación de la comarca, conjuntamos los valores de los parámetros de la USLE en una serie de tablas.

La primera de ellas, recoge la agresividad hídrica en la localidad, tomando R del trabajo de Martínez (1987) o calculando a partir de los datos suministrados por Ortega et al. (1986) para los suelos del N.O. de la provincia de Almería, que se incluyen en la memoria del mapa de suelos de Gergal. Tabla nº 1.

Perfi Nº	Prof. solum cm.	R	Limo + arena muy fina	% Arena a	% Limo b	% Arcilla c	pH	MO	CE	CP	K1/ Barnet	K2/ Wisch- meier
1	17	28,98	66,1	31,0	48,4	20,6	7,3	1,9	4	4	0,46	0,21
2	12	28,98	29,5	70,4	18,0	11,6	7,3	1,4	3	2	0,18	0,13
3	28	28,98	32,2	61,5	24,4	14,1	6,7	4,6	3	2	0,15	0,12
4	18	28,98	29,7	70,1	21,1	8,9	7,2	13,2	2	2	0,11	0,12
5	40	28,98	22,1	78,8	14,5	6,7	7,6	2,2	2	2	0,10	0,10
12	13	37,93	37,8	57,9	30,7	11,4	6,4	10,7	3	2	0,18	0,15
13	18	37,93	30,5	67,7	22,0	10,4	7,1	2,0	3	2	0,18	0,14
14	21	37,93	30,9	51,7	23,6	24,8	7,3	1,5	4	4	0,24	0,14
21	14	74,77	41,6	59,0	29,4	11,6	7,1	2,1	4	2	0,28	0,06
22	9	74,77	30,9	66,1	22,9	11,0	5,7	4,7	2	2	0,11	0,05
34	14	43,01	30,8	68,2	21,7	10,1	8,1	1,3	1	2	0,13	0,17

$$K_1 \text{ Ec. de Barnet et al (1966)} K_1 = \frac{2 \cdot 1 \cdot M^{14} \cdot 10^{-4} (12-MO) + 3 \cdot 25 (CE-2) + 2,5(CP-3)}{100} \quad M = d(100-C)$$

$$K_2 \text{ Ec. de Wischmeier y Mannering (1969)} K_2 = \frac{(0'025pH + 0'357 + 0'0047 a - 0'0036 c) b}{MO} \quad \frac{b}{100}$$

Tabla nº 1.- Valores de R y K de la USLE en la cara N. de Sierra Nevada. Provincia de Almería.

La agresividad hídrica (R) es pequeña en las zonas bajas o de *pedemonte*, con valores medios que oscilan entre 25 y 40, distanciándose en las cotas altas donde estos guarismos se duplican.

En la misma tabla se incluye el parámetro erodibilidad del suelo (K) con dos valores distintos, obtenidos por métodos diferentes. De ellos y de los subfactores utilizados en el cálculo, deducimos que se trata de terrenos con suelos arenosos francos a franco limosos, siendo dominantes los de textura intermedia (franco arenosa) condicionando el buen código de permeabilidad (C) que se les adjudica para la determinación de K; las desviaciones que se observan para los suelos nº 1 y 14 son atribuibles al carácter franco limoso del perfil nº 1 y por el contenido en arcilla del horizonte subyacente al epipedon en el suelo nº 14, tenido en cuenta porque el horizonte A es menor de 25 cm.

Es muy complejo justificar la relación existente entre textura y el contenido en materia orgánica para la evaluación del código estructural (CE) a aplicar en la fórmula de Barnet. Hudson (1982) señala que la relación entre estos dos parámetros es inversa en ambientes textuales franco limosos, francos o franco arenosos y que disminuye esta relación cuando aumenta el contenido en arcilla.

Los valores de  $K_1$  y  $K_2$  denotan una erodibilidad de los suelos de fuerte a moderada, con un valor calculado próximo en ambos, siendo generalmente mayores los obtenidos para  $K_1$ , de ahí que utilicemos este índice para la cuantización potencial de pérdida de suelo.

La tabla nº 2 reúne datos sobre pendiente y longitud del declive donde se ubican los perfiles. Se hacen dos valoraciones, una para las zonas accidentadas con

pendientes superiores al 20% y otra para las zonas menos agrestes; obviamente los valores superiores de LS los presentan las zonas más quebradas, ya que va implícito la mayor repercusión del declive en detrimento de la longitud de los segmentos.

En la figura nº 1 podemos ver la inflexión que sufre el terreno pasando por una pendiente cóncava a otra convexa y como se produce una suavización de la misma, datos a tener en cuenta, pues según Kirkby y Morgan (1984) en estas condiciones fisiográficas se subestiman los datos.

La tabla nº 3 además de reunir los nueve subfactores de Dissmeyer, incluye los valores obtenidos para  $C_1$  y  $C_2$  para aplicar en la USLE.

Perfil	L (m) = x	S%	LS<20%	LS>20%
1	70	10	2.1	-
2	250	15	7.4	-
3	50	30	-	8.8
4	40	65	-	22.7
5	60	40	-	14.7
12	75	35	-	13.9
13	65	15	3.8	-
14	90	25	-	9.7
21	100	6	1.2	-
22	40	10	1.5	-
34	100	20	7.6	-

L = longitud en metros; S = inclinación de la pendiente en %

Tabla nº 2.- Valores de L, S y LS de la USLE en la cara Norte de Sierra Nevada (Almería).

Williams y Berndt:

$$LS < 20\% = \left( \frac{X}{22'13} \right)^m (0'065 + 0'045 S + 0'0065 S^2)$$

UPM, CEOTMA, ICONA:

$$LS > 20\% = \left( \frac{L}{22'1} \right)^{0'6} \left( \frac{S}{9} \right)^{1'4}$$

Dissmeyer (1981), al cuantizar el factor C codifica lo que se denomina suelo raso y cubierta aérea, haciendo así referencia a la pedregosidad y al tipo de vegetación con su densidad y grado de desarrollo respectivamente; el subfactor reconsolidación

se tiene en cuenta para las zonas de repoblación con más de cinco años que están dispuestas en pequeñas paratas y siguen las curvas de nivel sin haber sufrido posteriores acciones antrópicas aplicándole el valor máximo (0,145), igual que cuando se trata de suelos forestales sin labrar.

Otra variable importante es la M.O., ya que para cantidades mayores del 4%, no tenidos en cuenta al calcular K, se recomienda la aplicación de un subfactor correctivo que Dissmeyer establece en 0,7.

El sistema radicular protege al suelo de la erosión con distinta intensidad, que varía con el tipo de raíz, tamaño y densidad de la misma; los valores codificados en el punto donde aparece el perfil se relacionan lógicamente con la cubierta vegetal.

Así elaboramos la tabla nº 4 con las piedras y gravas de los tamaños referidos anteriormente, descritos en cada perfil.

Las prácticas de medidas de lucha contra la erosión (P), propuestas por Wischmeier y Smith (1978) que tienen en cuenta los cultivos en curvas de nivel, fajas y terrazas, en nuestro caso sólo se aplican en la zona del perfil nº 3 y el valor correctivo que le correspondería según estos autores es de 0,18.

El otro suelo cultivado nº 34, sufre labores sin observar ninguna práctica mecánica defensiva, de ahí que no se aplique esta variable independiente a la hora de desarrollar la USLE para él (Tabla nº 5).

Perfil Nº	Suelo raso	Cub. aerea	Reconso- lidación	Alto cont. M O	Raicillas	Efecto cohesivo residual	Almac. insitu	Escalo- nes	C. nivel	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
1	0'95	0'10	0'45	—	0'35	—	—	—	—	0'014	0'200
2	0'70	0'65	0'45	—	0'50	—	0'68	—	—	0'070	0'130
3	0'95	0'10	—	0'70	0'25	—	1'00	—	—	0'016	0'039
4	0'40	0'98	0'45	0'70	0'35	—	1'00	—	—	0'043	0'100
5	0'70	0'75	0'45	—	0'50	—	0'94	—	—	0'111	0'085
12	0'35	0'90	0'45	0'70	0'25	—	0'51	—	—	0'013	0'130
13	0'35	0'95	0'45	—	0'70	—	0'67	—	—	0'070	0'085
14	0'35	0'90	0'45	—	0'70	—	0'78	—	—	0'077	0'087
21	0,05	0'90	0'45	—	0'70	—	1'00	—	—	0'014	0'140
22	0'05	1'00	0'45	0'70	0'35	—	0'48	—	—	0'003	0'040
34	0'70	0'98	0'45	—	0'90	—	0'67	—	—	0'186	0'500

C<sub>1</sub> Valores de C según Dissmeyer (1981)

C<sub>2</sub> Valores de C según Wischmeier (1976)

Tabla nº 3.- Subfactores de Dissmeyer y valores de C.

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Las pérdidas de suelo calculadas, según podemos ver en la tabla nº 6, (a, b) son ligeras (menores de 0,6 mm/año), salvo en el caso del suelo nº 12 donde es moderada (0,72 mm/año), lo que resulta contradictorio, pero si analizamos en profundidad los hechos, nos acercaremos a la realidad.

Las escasas lluvias recogidas en la región conducen indudablemente a su desertización, pero además a la hora de justificar pérdidas de suelos hay que pensar en el agua como vehículo de transporte. La sequedad del suelo y la mala distribución en el tiempo de las escasas lluvias, con aportes tumultuosos, no tenidos en cuenta a la hora de evaluar R, provocarán puntualmente cada año grandes mermas de superficie edáfica por arrastres en suspensión y cíclicamente por grandes movimientos de masas. Quirantes (1979).

Este efecto está disminuido en la parte alta, a pesar del valor de R, por la menor pendiente y densidad de la cubierta vegetal.

Perfil nº	% Piedras >15 cm.	5cm < Piedras y < 15 cm. gravas %
1	-	-
2	10	30
3	0	15
4	0,1	20
5	15	20
12	15	40
13	15	25
14	15	25
21	-	15
22	70	20
34	5	31

Tabla nº 4.- Porcentaje de piedras mayores de 15 cm. y de piedras y gravas entre 5 y 15 cm. en los perfiles muestrados.

Perfil Nº	Tipo suelo	R	K1	LS	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	P
1	Re	28,98	0,46	2,1	0,033	0,200	-
2	Re	28,98	0,18	7,4	0,070	0,130	-
3	Be	28,98	0,15	8,8	0,012	0,039	0,18
4	Hh	28,98	0,11	22,7	0,038	0,100	-
5	Lc	28,98	0,10	14,7	0,078	0,085	-
12	Hh	37,93	0,18	13,9	0,028	0,130	-
13	Re	37,93	0,18	3,8	0,125	0,085	-
14	Lc	37,93	0,24	9,7	0,054	0,087	-
21	Bd	74,77	0,28	1,2	0,011	0,140	-
22	Rd	74,77	0,11	1,5	0,002	0,040	-
34	Ri	43,01	0,13	7,6	0,289	0,500	-

Tabla nº 5.- Valores de los factores de la USLE en la vertiente N de Sierra Nevada. (Almería).

El análisis de los resultados obtenidos en la tabla nº 6 nos lleva a establecer pérdidas anuales de suelos que oscilan entre 0,5 y 12 t/ha/año, siempre en condiciones idealizadas y a tenor de la agresividad hídrica calculada.

Tres subfactores no han sido cuantizados: efecto cohesivo residual, presencia de escalones y labores agrarias continuadas en curvas de nivel, porque su acción no se ha dejado sentir en estos parajes.

El subfactor almacenamiento en depresiones "in situ" que está ligado a la posible irregularidad del terreno se ha calculado teniendo en cuenta los tocones, las piedras mayores de 15 cms., y las piedras y gravas superiores a 5 cms.; las primeras multiplicadas por 0,5 y las segundas por 0,2, de acuerdo con Dissmeyer (1981).

$$A = 0'5 \times \frac{\% \text{ comp. } > 15 \text{ cm}}{\text{total suelo cubierto}} + 0'2 \frac{\% \text{ comp. entre 5 y 15 cm}}{\text{total de suelo cubierto}}$$

$$\text{Subfactor} = \frac{100}{\text{suelo cubierto}} \times A \text{ (tomando como valor máximo 1)}$$

Suelo nº	t/ha/año	mm/año	Suelo nº	t/ha/año	mm/año
1	0,9	0,05	12	3	0,18
2	3	0,18	13	3	0,18
3	0,1	0,01	14	5	0,30
4	3	0,18	21	0,3	0,02
5	3	0,18	22	0	0
			34	12	0,72

Tabla nº 6.- Pérdida de suelo calculada por la USLE con valores de  $C_1$  de Dissmeyer

Suelo nº	t/ha/año	mm/año	Suelo nº	t/ha/año	mm/año
1	5	0,36	12	12	0,72
2	5	0,30	13	2	0,12
3	0,3	0,02	14	8	0,48
4	7	0,42	21	4	0,24
5	4	0,24	22	0,5	0,03
			34	21	1,26

Tabla nº 6.- Pérdida de suelo calculada por la USLE con valores de  $C_2$  de Wischmeier.

Este valor representa la pérdida de una capa edáfica de espesor comprendido entre 0,2 y 0,72 mm/año, o sea una erosión ligera o moderada.

Si comparamos estos valores con los obtenidos en el área del perfil nº 34, donde el suelo está cultivado y poblado de almendros, las diferencias sí son preocupantes,

cuadruplicándose o quintuplicándose los resultados según el método de cálculo, por el hecho diferencial de estar labrado.

En resumen, y prescindiendo del efecto de otros grandes agentes erosivos estimamos que la pérdida de suelo en la vertiente Norte de Sierra Nevada (Almería), es ligera en las zonas altas, gracias a la cubierta vegetal; es alta en la zona intermedia por las fuertes pendientes (hasta el 70%); y débil a moderada en las partes bajas, estando muy condicionada por el valor de R calculado.

Cuando la superficie del suelo está desnuda por deforestación y cultivos, los efectos erosivos se intensifican y la desertización es patente, hecho fácilmente observable por la presencia de suelos más someros como los Regosoles litosólicos, originados por la pérdida de material edafizado a pesar de la poca agresividad hídrica.

### BIBLIOGRAFIA

Barnet, A y Rogers, J. 1966. Soil properties related to runoff and erosion from artificial rainfall. Amer. Soc. Agric. Eng. Trans. 9.

Dissmeyer, G y Foster, G. 1981. Estimación del factor cultivo y ordenación (C) de la USLE en el monte. Rev. de Conservación de Suelos y Agua. Jul-Ago. USDA.

F.A.O. y PNUMA. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. FAO. Roma. 86 p.

Faniran, A. y Areola, O. 1978. Essentials of soil study. Heinemann. London. 278 p.

Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Reverté, S.A. Barcelona. 335 p.

ICONA. 1982. Paisajes erosivos del Suroeste Español. Proyecto LUCDEME. Min. Agric. Pesca y Alim. Monografía nº 26. Madrid. 67 p.

Kirkby, M. y Morgan, R. 1986. Erosión de suelos. Limusa S.A. México. 375 p.

Martínez, F.J. 1986. Estudio edáfico de los suelos de la vertiente oriental de Sierra Nevada. Provincia de Almería. Memoria de Licenciatura. Fac. Farmacia. Univ. Granada. 215 p.

Martínez, F.J.; Ortega, E.; Sierra, C.; Rodríguez, T. y Lozano, F.J. 1987. Degradación de los suelos de la vertiente oriental de Sierra Nevada. Rev. Ars Pharmaceutica. (En prensa).

Ortega, E.; Sierra, C.; Rodríguez, T.; García, I.; Saura, I e Iriarte, A. 1986. Mapa de suelos de Gergal (Hoja 1029). Min. Agric. Pesca y Alim. ICONA. Madrid. 179 p.

Quirantes, J. y García Chicano, J.L. 1979. Aproximación cuantitativa de los procesos erosivos en la Costa del Sol (Granada). Acta Geológica e Hispánica. Homenaje a Lluís Solé i Sabaris. Tomo XIV.

Universidad Politécnica de Madrid, CEOTMA, INIA, ICONA. 1981. Tratado del Medio NATURAL. UPM. Madrid.

Wischmeier, W. H. y Mannering, V. 1969, Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23.

Wischmeier, W.H. 1976. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation. 31.