

## MORFOLOGIA Y EROSION DE LOS SUELOS DE SUROESTE DE SIERRA NEVADA (GRANADA)

Ortega, E.\*; Martínez, J.\*\*; Asensio, C.\* y Gil, C.\*\*

\* Dpto. Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada.

\*\* Dpto. Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Almería.

### RESUMEN

En el presente estudio se reflejan una serie de características morfológicas de Leptosoles, Regosoles, Calcisoles, Luvisoles y Cambisoles localizados al SW de Sierra Nevada, así como los parámetros que inciden en su degradación erosiva (erosión hídrica y erodibilidad eólica) y las fluctuaciones de la intensidad de éstas en cada caso.

### SUMMARY

In the study that we present are showed several morphological characteristics of Leptosols, Regosols, Calcisols, Luvisols and Cambisols located at SW of Sierra Nevada, as well the parameters which have incidence on their erosive degradation (hydric erosion and eolic erodibility) and their intensity fluctuations for each case.

### INTRODUCCION

La formación del suelo es un proceso extraordinariamente lento y son precisos muchísimos años para que se formen los horizontes que componen el perfil del suelo. Este factor edafogénico oscila según los suelos y la intensidad de acción de los demás factores formadores. Ruhe (1956), Simonson (1959) y Buol et al. (1983) entre otros, citan para ello varios cientos a miles de años; no obstante el efecto inverso, de pérdida, se reduce, a menudo, a un corto espacio de tiempo.

Según Hudson (1982), la erosión del suelo, en su sentido más amplio, incluye cualquier degradación que merme la capacidad de producir cosechas.

Es de sumo interés distinguir entre la degradación actual y potencial del suelo. La degradación potencial, es la vulnerabilidad del suelo de acuerdo con sus constituyentes y los factores físicos que actúan sobre él (FAO, 1977). La degradación actual marca la regresión que sufre el suelo como consecuencia de un determinado uso o con una cubierta de vegetación natural, alterada o no.

La *erosión hídrica (E)* es "el desplazamiento horizontal de las capas superiores del suelo o de todo el suelo, junto con el transporte y el ulterior depósito de las partículas en otro lugar" (Kirkby y Morgan, 1984).

Inicialmente, las lluvias pueden ser interceptadas por la vegetación y no afectar para nada al suelo. Con posterioridad o en ausencia de protección vegetal, se inicia la destrucción de los agregados del suelo y el taponamiento de los poros.

A partir de este estadio, las aguas discurren removiendo y amontonando el epipedon del suelo, originándose el proceso de erosión que se continua según la secuencia: laminar, surcos, regueros, cárcavas y barrancos (McGraw-Hill, 1981).

Los procesos de erosión hídrica son fácilmente explicables pero difícilmente medibles. Si conocemos las características e intensidad de los elementos climáticos, podemos justificar los procesos edáficos y aconsejar sobre el uso correcto del suelo, reduciendo al mínimo la erosión y manteniendo su productividad. López Cadenas (1982) define la erosión como el resultado de una mala administración de las tierras y señala la importancia de una buena información para hacer una

<b>Leptosoles</b>										
Horz	Prof.	Color (h)	Color (s)	Textura	Estructura	Poros	Raíces	Frag.	rocosos	
A	0-8	Horz A	5YR 3/4	5YR 4,5/6	Franca	Bloques	Pocos	Abundantes	44 %	
AR	8-22				subangulares	finos				
R	> 22				medianos	medianos				
Leptosol lítico ( P-1 )										
Ah	0-18	Horz Ah	5YR 3/1,5	5YR 4/2	Franco	Granular	Abundantes	Muy	21%	
R	> 18				arenosa	fina	muy finos	Abundantes		
Leptosol réndico ( P-2 )										
A	0-22	Horz A	10YR 5/4	10YR 6,5/4	Franco	Granular	Frecuentes	Muy	59%	
R	> 22				arenosa	mediana	finos	Abundantes		
Leptosoles eútricos ( P-3, P-4 )										
<b>Calcisoles</b>										
Ap1	0-12	Horz Ap1	7,5YR 5/5	7,5YR 7/5	Franca	Granular	Abundantes	Abundantes	25%	
Ap2	12-41					/Bloques	finos	finas		
Cmk	> 41					subangulares				
Calcisol pétrico ( P-7 )										
<b>Regosoles</b>										
A	0-33	A	10YR 4/2	10YR 6/4	Franco	Granular	Frecuentes	Abundantes	60%	
C	> 33	C			Arenosa		finos	muy abundantes		
		2C					medianos	medianas y		
								finas		
Regosol calcárico ( P-5 )										
Regosol calcárico ( P-6 )										
			7,5YR 6/6	7,5YR 6,5/4	Franca	Bloques	Pocos	Comunes	33%	
						subangulares	medianos	finas		
muy finas										
<b>Luvisoles</b>										
Ap	0-10	O	2-0							
Bt	10-31	A	2,5YR 4/6	2,5YR 5/6	Franco	Bloques	Frecuentes	Comunes	9%	
B/C	31-43	Bt			arcillosa	subangulares	finos y	finas y		
						finos	muy finos	muy finas		
Ck	> 43	BtC	7,5YR 4,5/6	7,5YR 6/6	Franco	Granular	Pocos	Pocas	34%	
					arenosa		finos	finas		
Luvisol cálcico ( P-8 )										
Luvisol crómico ( P-9 )										
<b>Cambisoles</b>										
Ap	0-23	Ap	0-22							
Bw	23-55	Bw	10YR 6/6	10YR 7/6	Franca	Bloques	Pocos	Pocas	13%	
						subangulares	finos	finas		
C	> 55	C	> 76							
			10YR 5/3	10YR 6,5/3	Franco	Bloques	Abundantes	Comunes	3%	
Cambisol calcárico ( P-10 )										
Cambisol calcárico ( P-11 )										
					arcillosa	subangulares	finos	muy finas		
						medianos				

Fig. nº 1.- Características morfológicas de los suelos muestreados

perfecta planificación del territorio.

Como *erosión eólica* (*W*), se marca la pérdida de suelo por la acción mecánica del viento y sólo se manifiesta con intensidad en condiciones locales muy específicas, como son ambientes áridos, con precipitaciones inferiores a 300 mm o con largos períodos de sequía (Hudson, 1982) y donde los vientos azotan fuertemente, acentuando su acción según la orientación y morfología del terreno.

Los estudios realizados hasta el momento son escasos, destacando los trabajos de Quirantes (1989, 1991), autor que la define como: "proceso natural mediante el cual el viento arranca y transporta partículas del suelo desgastándolas, arrastrándolas y haciéndolas incidir sobre materiales y áreas".

El estudio de la erosión eólica, en suelos agrícolas, ha presentado avances sustanciales en los últimos treinta años, no obstante los resultados y sobre todo las ecuaciones de predicción hay que utilizarlos con extrema precaución en períodos húmedos (Kirkby y Morgan, 1984). La situación más desfavorable es un suelo desprovisto de vegetación y seco, como sucede en terrenos de barbecho (Pou Royo, 1988). La remoción y el transporte aéreo de las partículas del suelo comienzan cuando el viento sopla a unos 15 km/h a 15 cm del suelo (Fournier, 1975) y según FAO (1984) la cantidad del suelo que puede ser desplazada de este modo, es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad del viento.

Para calcular la Erosión eólica los problemas se agudizan, por la carencia de datos como intensidad y sentido de los vientos. Es por ello que resulta más coherente calcular la erodibilidad eólica o susceptibilidad del suelo a ser erosionado por el viento.

## MATERIAL Y METODOS

La zona estudiada corresponde al SW de Sierra Nevada, quedando englobada dentro de la hoja topográfica 1026 de Padul (Granada), y cuyos suelos han sido estudiados por Asensio (1991), Sierra et als (1992) y Ortega et als (1992). Las características morfológicas aparecen en la Fig nº1.

Para la erosión hídrica utilizamos la U.S.L.E., siendo conscientes de las limitaciones de esta Ecuación Universal.

La valoración de la erosividad se hace, por falta de datos, relacionando el índice de agresividad hídrica propuesto por I.C.O.N.A. (1988),  $R_1$ , con el factor de Fournier adaptado por FAO (1980),  $R_f$ . Esta relación, para las zonas áridas, da un valor del índice de Fournier unas 2.8 veces inferior al obtenido por el método de ICONA (Lozano, 1992).

En las estaciones con microclimas específicos, donde el índice de Fournier presenta valores superiores a 50 y regímenes arídicos, el factor de corrección se aproxima a 3.2. El límite de 50 para el índice de Fournier es significativo porque marca los márgenes, ligero-moderado, que ofrece FAO (1980) para el factor climático, correlacionado con el factor R de la U.S.L.E.

Para el cálculo de K hemos empleado la fórmula de Wischmeier y Mannering (1969), dando valores similares que cuando utilizamos el método de Barnet y Rogers (1966), pero es matemáticamente más sencilla de computar (Lozano, 1986). En zonas limítrofes ICONA (1982), calcula una K media de 0,32.

La longitud y grado de la pendiente se evalúan según Wischmeier y Smith (1965). Para el primero de ellos, procedemos a utilizar el Mapa topográfico E. 1:50000 de Padul (1026) de la siguiente forma: tomamos como referencia el punto donde está situado el perfil y trazamos una línea que une la divisoria de aguas con el río, rambla o barranco más próximo; este segmento lo medimos y según la escala del mapa, obtenemos el valor de "L". El grado de inclinación se da con el Mapa de pendientes.

El factor cultivo lo resolvemos mediante el producto de los nueve subfactores de Dissmeyer y Foster (1981), con las siguientes matizaciones:

- Restándole al 100% los porcentajes de pedregosidad más rocosidad, tendremos el % de suelo raso. Después, interpolamos en la curva correspondiente.

- Conocido el porcentaje de suelo raso, consideramos el tipo y densidad de vegetación que

llevamos al ábaco correspondiente.

- La reconsolidación se mantiene en los suelos forestales no labrados como 0.45, o si son cultivos abandonados teniendo en cuenta los años desde que no es arado.
  - La materia orgánica se estima, según Dissmeyer, para valores superiores al 4% como 0.7.
  - La cantidad de raicillas, reflejadas en la descripción del epipedon, se interpola en el correspondiente ábaco.
  - La cohesión residual rige por el mismo criterio que el subfactor reconsolidación. Así, para cereales extrapolamos en la curva "d" y tenemos un valor de 0.98 o 0.95.
  - Para el cálculo del subfactor almacenamiento en depresiones "in situ", no efectuamos la proporción con ayuda de la pedregosidad, rocosidad y restos de tocones (Lozano, 1992). - El ábaco correspondiente al subfactor de escalones, no se utiliza por la ausencia de estos desniveles en el área.
  - Cuando el laboreo se hace siguiendo curvas de nivel se cuantifica en base en base al tanto por ciento de pendiente.
- El factor P de la U.S.L.E. se valora según Wischmeier y Smith ( 1965).

## **RESULTADOS**

En la Tabla nº 1 reflejamos los datos de la erosividad (R de ICONA) gracias al Índice de Fournier, la erodibilidad (K) con sus parámetros y la topografía (LS) con los suyos.

Del producto de los factores de la U.S.L.E., se obtienen pérdidas potenciales de suelo (E) en t/ha/año y mm/año (Tabla nº 2). La influencia del factor cultivo (C) con sus subfactores y

Perfil	R <sub>F</sub>	R <sub>I</sub>	pH	M.O.	a	c	b	K	x	m	s	LS
1	83	265	7,2	4,7	39,9	16,4	43,7	0,87	350	0,5	57	94
2	55	176	7,7	6,7	51,4	12,2	36,4	0,16	100	0,5	60	56
3	105	336	7,6	2,3	50,0	3,2	46,8	0,27	150	0,5	40	32
4	95	304	7,8	1,3	48,7	21,2	29,1	0,18	160	0,5	35	26
5	64	205	7,9	2,8	48,8	17,4	33,8	0,17	400	0,5	15	9
6	57	182	7,5	3,3	41,0	15,2	43,8	0,19	500	0,5	8	4
7	60	192	7,3	1,9	28,1	24,9	47,0	0,19	50	0,5	10	2
8	58	186	7,5	1,5	28,6	31,9	39,5	0,18	80	0,5	12	3
9	98	314	7,5	1,1	57,9	13,7	28,4	0,21	450	0,5	38	50
10	72	230	7,7	1,0	29,2	12,9	57,9	0,37	700	0,5	15	2
11	59	189	7,8	1,8	31,4	11,5	57,1	0,28	400	0,5	7	3

a = % arena (0.1-2 mm); c = % arcilla ; b = % arena muy fina + % limo ( 0.1-0.002 mm );  
 x = longitud de la pendiente en m.; m = valoración para el grado de pendiente; s = % de pendiente

Tabla nº 1.- Valores de R, K y LS de la U.S.L.E.

Perfil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C	P	E t/ha/año	E mm/año	Denom.
1	0,93	0,95	0,75	1	0,35	0,98	0,8	1	0,70	0,13	1,0	1	0,1	Ligera
2	0,61	0,40	0,45	0,7	0,35	1,00	0,9	1	1,00	0,02	1,0	32	2,2	Moderada
3	0,63	0,82	0,45	1	0,42	1,00	0,9	1	1,00	0,09	1,0	138	9,2	Alta
4	0,83	0,85	0,45	1	0,42	1,00	0,9	1	1,00	0,12	1,0	91	6,1	Alta
5	0,65	0,60	0,90	1	0,64	0,95	0,8	1	0,90	0,15	1,0	47	3,2	Moderada
6	0,92	0,32	0,90	1	0,35	0,73	0,8	1	0,80	0,04	1,0	6	0,4	Ligera
7	0,90	0,30	0,90	1	0,35	0,98	0,7	1	0,80	0,05	1,0	4	0,2	Ligera
8	0,95	0,75	0,63	1	0,64	0,95	0,8	1	0,80	0,17	1,0	17	1,2	Moderada
9	0,90	0,72	0,45	1	0,42	1,00	0,9	1	1,00	0,11	1,0	101	6,7	Alta
10	0,99	0,72	0,60	1	0,64	0,95	0,7	1	0,90	0,16	1,0	27	1,8	Moderada
11	0,99	0,30	0,90	1	0,35	0,98	0,7	1	0,80	0,05	1,0	8	0,5	Ligera

1-9 = Subfactores de Dissmeyer y Foster (1981) Tabla n° 2.- Erosión hidrica en t/ha/año y mm/año

Perfil	M.O.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Limo	Arcilla	W <sub>15</sub> <sup>+</sup>	Suma	F' s <sub>1</sub>
1	0	3	2	0	3	2	10	Debil
2	0	2	4	0	3	2	11	Moderada
3	1	3	4	0	3	3	14	Alta
4	2	3	4	0	2	3	14	Alta
5	0	2	4	0	3	3	12	Moderada
6	0	1	3	0	3	3	10	Debil
7	1	1	4	0	2	2	10	Debil
8	2	1	2	0	2	2	9	Debil
9	2	3	1	0	3	3	12	Moderada
10	2	2	4	1	3	3	15	Alta
11	1	2	3	1	3	3	13	Moderada

a = % arena (0.1-2 mm); c = % arcilla ; b = % arena muy fina + % limo ( 0.1-0,002 mm );  
x = longitud de la pendiente en m.; m = valoración para el grado de pendiente; s = % de pendiente

Tabla n° 3.- Erodibilidad eólica ( F' s<sub>1</sub>) de los perfiles estudiados

la protección antrópica (P) la ponderamos en la Tabla nº 2. Como resultado, obtenemos la erosión hídrica potencial en los puntos escogidos y su denominación según FAO (1980).

En la erosión eólica, la velocidad del viento es un dato fundamental para entender y valorar la agresividad climática originada por él mismo; siendo necesario conocer su frecuencia, intensidad y sentido. En el S de España, sólo disponemos de las mediciones realizadas en los aeropuertos de Almería, Granada y Málaga, aparte de algunas observaciones locales que abarcan períodos de pocos años, junto con apreciaciones de tipo cualitativo que no responden a ningún plan sistemático y continuo de mediciones.

Al no disponer de datos fiables de intensidades de los vientos en la zona de estudio, calculamos la **Erosionabilidad o Erodibilidad Eólica** que definimos como la sensibilidad del suelo a ser erosionado por el viento. El método seguido por Lozano (1992), nos parece el más válido para nuestro ambiente con las matrices que preconiza.

Su aplicación numérica (Tabla nº 3) con los perfiles muestreados, nos ofrece el valor de la susceptibilidad de erosionarse el suelo eólicamente ( $F's_1$ ).

## **DISCUSION DE LOS RESULTADOS**

Una vez cuantificada la degradación erosiva en los suelos de la Vertiente SW de Sierra Nevada (Granada), se pueden extraer las consideraciones que a continuación comentamos:

En el balance de Erosión Hídrica, los valores obtenidos de *erosividad*, tras la conversión del factor de Fournier ( $R_F$ ) en el índice de ICONA ( $R_I$ ), son moderados, ya que están entre 176 (P-2) y 336 para (P-3), de acuerdo con los márgenes aceptados por FAO (1980).

La *erodibilidad* (K) que depende, según Wischmeier y Mannering (1969), del pH, materia orgánica y textura. De forma análoga, se obtienen valores similares en todos los casos, elevándose los del perfil 3 y 10, por su textura y materia orgánica.

En el *relieve* (LS) apreciamos que pese a la amplitud de las pendientes, el grado de las mismas es variable (7-60%), obteniéndose en consecuencia unos valores comprendidos para este factor, que serán los máximos responsables de la denominación final de la erosión hídrica.

El factor *cultivo o explotación del suelo* (C) presenta valores que se agrupan como bajos para las zonas de repoblación (Leptosoles) y moderados para zonas de explotación más intensiva en las que aparecen Regosoles, Luvisoles y Cambisoles.

Finalmente el factor de *protección* (CP) no afecta a los suelos muestreados.

Como resultado de todos los factores de la USLE, la erosión hídrica, en los suelos estudiados, es alta para los Leptosoles, salvo en el caso del Leptosol rédnico (P-2), en el que es moderada, por presentar el menor índice de agresividad hídrica (R). Para los Regosoles, las pérdidas se cifran entre moderadas y ligeras. El Calcisol muestreado (P-7), posee una ligera pérdida de suelo, los Luvisoles tienen pérdidas moderadas, que pasan a altas cuando aparecen en zonas de mayores pendientes como ocurre en el caso del Luvisol crómico (P-9). Por último, los Cambisoles presentan pérdidas de moderadas a ligeras.

En cuanto a la *erodibilidad eólica* ( $F's_1$ ) en los suelos de esta zona, se puede concluir, que no existe una dependencia entre la tipología del suelo y el grado de erodibilidad, ya que para los Leptosoles existen valoraciones desde débil (P-1), hasta altas (P-3 y 4), que están influidas por los contenidos en materia orgánica de estos suelos.

Para los Regosoles, es determinante el contenido en  $CaCO_3$  y  $P_2O_5$ , que dan lugar a valoraciones moderadas (P-5) y débiles (P-6). El Calcisol posee una débil erosionabilidad eólica. En cuanto a los Luvisoles, el contenido en  $CaCO_3$  y sobre todo el de  $P_2O_5$ , son los responsables de las denominaciones débiles o moderadas que poseen. Los Cambisoles poseen valores comprendidos entre moderados y altos en función de los contenidos de carbonato cálcico y fósforo.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Asensio, C. 1991.** Estudio edáfico del sector oriental de la hoja de Padul (1026). Serv. Publicaciones de la Univ. de Granada. Granada. pp. 168
- Barnet, A. y Rogers, J. 1966.** Soil physical properties related to runoff and erosion from artificial rainfall. American Society Agricultural Engineers Transaction 9.
- Buol, S.W.; Hole, F.D. y McCracken, R.J. 1983.** Génesis y clasificación de suelos. 1ª Ed. Español. Ed. Trillas, S.A. México. 417p.
- F.A.O. 1977.** Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma. 70p.
- Dissmeyer, G. y Foster, C. 1981.** Estimación del factor cultivo y ordenación (C) de la U.S.L.E. en el monte. Periódico de conservación de suelos y aguas. Julio y Agosto. USDA.
- F.A.O. y P.N.U.M.A. 1980.** Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86p.
- F.A.O. 1984.** Directrices para el control de la degradación de suelos. PNUMA y FAO. Roma. 38p.
- Fournier, F. 1975.** Conservación de suelos. Mundi Prensa. Madrid.
- Hudson, N. 1982.** Conservación del suelo. Ed. Reverté. p 149-182. Barcelona.
- ICONA 1982.** Paisajes erosivos del Sureste español: Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación. Monografía nº26. Proyecto LUCDEME. Servicio de publicaciones del MAPA. Madrid. pp. 67 Granada
- ICONA 1988.** Agresividad de la lluvia en España. Mº de Agric. Pesca y Alimentación. Madrid.
- Kirkby, M.; Morgan, R. 1984.** Erosión de suelos. Limusa. México. pp. 375.
- López Cadenas, F. 1982.** Ordenación y restauración hidrológica forestal de cuencas áridas. Edita la vocaía de Ciencias del Inst. de Est. Almeriense y Excma Dipt. Provincial de Almería.
- Lozano, F.J. 1986.** Estudio edáfico del sector comprendido entre la Sierra de las Guájaras y el río Albuñuelas. Balance de erosión hídricas. Tesis de Licenciatura. Univ. Granada. 241 p.
- Ortega, E.; Asensio, C.; Saura, I. 1992.** Toposecuencias de suelos en la Sierra del Manar, Granada: Características tipológicas y genéticas. Sociedad Española de Geomorfología. Murcia. Tomo 1. pp. 261- 271
- Pou Royo, A. 1988.** La erosión. Centro de publicaciones del MOPU. Dirección General del Medio Ambiente. Madrid. 121 p.
- Quirantes, J. 1989.** Aproximación cualitativa y cuantitativa de los fenómenos de erosión eólica en el SE español. Proyecto LUCDEME V. Monografía 51. ICONA. Mº Agric. Madrid.
- Quirantes, J. 1991.** Método para el estudio de la erosión eólica. Soc. Esp. de Geomorf. Ed. Geoforma. p. 26.
- Ruhe, R.V. 1956.** Geomorphic surfaces and the nature of soil. Soil Sci. 82: 441-455.
- Sierra, C.; Ortega, E.; Roca, A.; Saura, I.; Asensio, C. 1992.** Memoria y mapa de suelos de Padul ( 1026). Granada a escala 1:100.000. Serv. Publicaciones del MAPA. Madrid. pp. 174.
- Simonson, R.W. 1959.** Outline of a generalized theory of soil genesis. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 152-156.
- Wischmeier, W.H.; Mannering, V. 1969.** Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc, 23.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1965.** Predicting rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook nº 282. USDA. Washington.