

ESTIMACIONES DE LA EROSION POR ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN LA ZONA SURORIENTAL DE LA PROVINCIA DE MALAGA

EMILIO FERRE BUENO y JOSE M^a SENCIALES GONZALEZ

RESUMEN

Se trata de una estimación, por diversos métodos, de la erosión por escorrentía superficial en la zona suroriental de la provincia de Málaga; con una evaluación particular de las pérdidas de suelo ocurridas durante los aguaceros del 14-25 de Noviembre de 1.989 en cuatro laderas cultivadas con almendros en los "Montes de Málaga" y otras cuatro laderas cultivadas con cereal en el "Corredor de Colmenar".

SUMMARY

In our paper we deal with an estimation of soil loss in the south east Málaga province area, and in particular an evaluation of rill erosion caused by overland flow in the last heavy rains which fell in the Málaga area during the period 14-26 th November, 1.989; we have chosen four samples from slopes with almond trees in the "Montes de Málaga", and four other samples from slopes with cereal plantations in the "Corredor de Colmenar".

ESTIMACIONES DE LA EROSION POR ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN LA ZONA SURORIENTAL DE LA PROVINCIA DE MALAGA.

EMILIO FERRE BUENO
JOSE M^a SENCIALES GONZALEZ,
Departamento de Geografía.

INTRODUCCION.

Cuando hablamos de la zona suroriental de la provincia de Málaga nos referimos a Los Montes de Málaga, al Corredor de Colmenar y a algunas áreas cercanas a la ciudad de Málaga, en donde, desde hace unos pocos años, venimos realizando estudios para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica (SENCIALES, J.M^a, 1.990; FERRE, E. y SENCIALES, J. M^a, 1.990). (1).

El interés de la investigación estriba en que es una zona profundamente humanizada, ya sea desde el punto de vista agrícola, con roturaciones y cultivos seculares; o por asentamientos de población, entre los que destacan la ciudad de Málaga y los pueblos y urbanizaciones de la costa oriental malagueña, situados en la vertiente sur de Los Montes de Málaga. La intensa humanización de esta zona ha incidido en el medio físico por dos vías diferentes:

- acelerando la erosión en las laderas de las montañas.
- aumentando la peligrosidad de las avenidas y la frecuencia de inundaciones catastróficas en las áreas de piedemonte.

En realidad, ambos modos son el principio y fin de un sólo proceso: la erosión por escorrentía superficial, que en las zonas elevadas arrastra suelo y en las áreas más bajas lo acumula.

Los Montes de Málaga son una alineación montañosa de mediana altura (dificilmente rebasa los 800 m., aunque puede alcanzar los 1.000 m. en alguna cumbre) situada al sur de la provincia de Málaga, dispuesta en sentido zonal desde el valle del río Vélez al E. hasta alcanzar el río Guadalhorce por el O. Al N., los Montes de Málaga están limitados por un corredor o pasillo (Corredor de Colmenar-Casabermeja), drenado por los ríos Vélez, Guadalmedina y Guadalhorce; mientras que por el S., la zona oriental de Los Montes cae directamente al Mar Mediterráneo y la zona occidental está limitada por la Hoya de Málaga.

Como es sabido, Los Montes de Málaga están constituidos por una litología que corresponde a los mantos de corrimiento del Complejo Maláguide, en el que se pueden distinguir un zócalo paleozoico de micasquistos, filitas, metareniscas, grauwacas y «calizas alabeadas», y una cobertera permomesozoica, que aflora en retazos de pequeña extensión, formada por areniscas, conglomerados, argilitas con yeso y calizas dolomíticas.

(1) SENCIALES GONZALEZ, J. M., 1.990, *Formas y procesos de erosión en la cuenca del río Almáchar. Aproximación a varios modelos de cuantificación*. Memoria de Licenciatura, presentada en julio, inédita.
FERRE BUENO, E. y SENCIALES GONZALEZ, J. M., 1.990, *Notas sobre la erosión hídrica en las laderas de los Montes de Málaga*. Actas de la 1ª Reunión Nacional de Geomorfología, Teruel, pp. 561-571.

Las rocas del Complejo Maláguide, que en su conjunto podemos calificar de «pizarrosas», con la excepción de las calizas dolomíticas, presentan pocos contrastes en su comportamiento frente a la erosión de la red fluvial, por lo que se ha producido un modelado de disección a costa de redes fluviales mal jerarquizadas, formadas por torrentes con redes subparalelas y algunos más grandes con redes dendríticas, provocando un paisaje alomado constituido por valles estrechos, separados por interfluvios digitados en forma de promontorios con laderas convexas.

Teniendo en cuenta los desniveles relativos y las pendientes de las laderas, Los Montes de Málaga se clasifican en la categoría de montaña media fuertemente disectada y escarpada, con pendientes que oscilan entre el 21 y el 55% y desniveles relativos comprendidos entre 200 y 500 m. (2).

De otro lado, las rocas de Los Montes de Málaga han experimentado fuertes procesos de tectonización, por lo que su estructura interna se presenta triturada y descoyuntada, lo que ha favorecido su alteración en superficie y la creación de formaciones superficiales de textura lajada o astillada, con matriz arcillo-arenosa o arcillo-limosa. Estas formaciones superficiales se han edafizado provocando un predominio de Inceptisoles (*Lithic xerochrepts* = *Tierra de lajas*), con texturas franco-arenosas o francas, generalmente con abundancia de fragmentos gruesos y con un espesor de *solum* que oscila entre 25 y 40 cm. (3).

En las superficies de pendientes moderadas y protegidas de fuerte erosión y en depósitos de ladera con textura franca y franco-arcillosa aparecen Alfisoles crómicos (*Xerochreptic haploxeralf*= *Greda roja*), que pueden tener un *solum* de hasta 2 m. de espesor. Pero las fuertes pendientes favorecen los procesos erosivos, por lo que están muy extendidos los Entisoles con un horizonte B muy delgado.

Como las formaciones superficiales y la roca subyacente presentan resistencia relativamente débil, por su estructura lajada o astillada, han podido ser roturadas y cultivadas hasta límites insospechados desde hace varios siglos. Así, del encinar-alcornocal potencial sólo quedan retazos aislados y pies sueltos, y las manchas de matorral subserial sólo quedan acantonadas en aquellas áreas donde la pedregosidad impide el laboreo. Mientras que la mayor parte de la superficie está ocupada por viñedo, almendral, olivar y, en algunas zonas, hasta cereal.

Lógicamente, las roturaciones y las labores de los cultivos, junto con el factor pendiente, han favorecido los procesos erosivos y especialmente los de origen hídrico, teniendo en cuenta que Los Montes de Málaga están incluidos en la zona delimitada por las isoyetas de 500-600 mm. anuales de precipitaciones (4) y en la zona más alta se pueden alcanzar los 800 mm.; precipitaciones que se producen según el modelo del clima mediterráneo (alto índice de torrencialidad, irregularidad, etc.).

El Corredor de Colmenar-Casabermeja está situado al N. de Los Montes de Málaga, como ya se ha señalado, y está rellenado por una litología margo-arcillosa perteneciente desde el punto de vista estructural a las llamadas Unidades del Campo de Gibraltar. Dicho Corredor tiene una altitud entre 300 y 600 m. y la disección de las redes fluviales ha provocado un paisaje de numerosas colinas con laderas suavemente convexas, cuya pendiente oscila entre el 12 y el 21% y sus desniveles relativos entre 50 y 200 m. . Sobre las margas se han desarrollado unos suelos en los que predominan los Vertisoles, (*Typic chromoxerert*) (5), de textura arcillosa o franco-arcillosa y con profundidad de *solum* de 0'9-1m.

(2) van ZUIDAM, R. A. et al., 1.979, *Terrain analysis and classification using aerial photographs. A geomorphological approach*. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). Textbook of photointerpretation. Enschede, Netherlands, vol VII-6, p. 12.

(3) AMA - CSIC, 1.984, *Catálogo de Suelos de Andalucía*. Sevilla, pp. 220-222.

(4) DIPUTACION DE MALAGA, 1.988, *Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Servicio de Publicaciones de la Diputación de Málaga, Málaga.

(5) AMA - CSIC, 1.984, op. cit., pp. 76-78.

El Corredor también está inscrito en la zona de 600-800 mm. de precipitaciones anuales, producidas de forma similar a las de Los Montes, y está completamente roturado porque ha sido una zona tradicionalmente ocupada con cultivos de cereal, como lo es en la actualidad.

ALGUNAS ESTIMACIONES DE LA EROSION EN LOS MONTES DE MALAGA.

Con motivo de la realización de otros trabajos de investigación en la parte oriental de Los Montes de Málaga (6), se han podido constatar altos valores de erosión que, aún a la espera de posteriores análisis, pueden extenderse a todo el conjunto de Los Montes.

Las pendientes acusadas, cuyos valores más generalizados están entre el 21 y 55%, la torrencialidad de las precipitaciones (frecuencia con que se producen precipitaciones de más de 30 l/m^2) – teniendo en cuenta que la escorrentía superficial empieza a partir de $3\text{-}5 \text{ l/m}^2$ – así como factores de origen humano, se combinan para acelerar los procesos erosivos. Entre los factores antrópicos hay que señalar las roturaciones y las actividades agrícolas. La extensión de cultivos de secano (olivar, almendros, viñedo e incluso cereal), que llegan, en algunas zonas, a ocupar casi el 90% de la superficie de Los Montes, son motivo de la aceleración de la erosión, ya que todos ellos, menos el olivar, pierden las hojas durante la estación de lluvias (otoño-invierno), dejando al suelo desprotegido. Un suelo que, precisamente, es removido cada año con las labores otoñales o invernales. Además, en estos cultivos se utilizan métodos de protección muy rudimentarios: pequeños muros de contención («muro albarrá») y unos surcos más profundos para jerarquizar las aguas de escorrentía superficial llamados «sangrías». Sin embargo unas lluvias de fuerte intensidad pueden convertir estas «sangrías» en auténticos barrancos, con desaparición total de suelo y cultivos.

A estas circunstancias se le suma la construcción de caminos para unir los terrazgos cultivados a las principales vías de comunicación; lo que conlleva la ruptura de equilibrio en las laderas y provoca su inestabilidad, especialmente por la zona superior al trazado del camino. Esto es causa de frecuentes desprendimientos que, no sólo inutilizan los caminos, sino que, la mayoría de las veces, dichos caminos se convierten en cauces improvisados durante precipitaciones violentas, acelerando la formación de barranqueras.

Todo ello hace que la erosión potencial media estimada en estas laderas, según el modelo del ITC (7) de 100-200 Tm/Ha/año.

Sin embargo, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (*Universal Soils Loss Equation=USLE*), definida por W.H. WISCHMEIER y SMITH en 1.965 (8), hemos obtenido valores potenciales de erosión que llegan a alcanzar 376 Tm/Ha/año en la misma zona antes mencionada.

Esta ecuación se define por $A = R.K.L.S.C.P.$, donde

A= Pérdidas de suelo en Tm/Ha. y año,

R= Erosionabilidad de un aguacero,

(6) SENCIALES GONZALEZ, J. M., 1.990, *Formas y procesos de erosión en la cuenca del río Almáchar. Aproximación a varios modelos de cuantificación*. Memoria de Licenciatura, op. cit.

(7) van ZUIDAM, R. A. et al., 1.979, op. cit., pp. 3-27 y 243-254.

(8) WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D., 1.978, *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA Agricultural Handbook, nº 537.

K= Erosionabilidad del suelo,

L= Longitud de la pendiente,

S= Gradiente de la pendiente,

C= Factor de ordenación de los cultivos, y

P= Control de erosión mediante prácticas de cultivo.

CUADRO Nº 1.

SUSCEPTIBILIDAD DE EROSIÓN EN LA ZONA ORIENTAL DE LOS MONTES DE MÁLAGA.

Cultivo	Factor					Valor de A Tm/Ha/año	Valora- ción de erosión
	R	K	L.S	C	P		
Cítricos	76'25	0'249	3'15	0'08	0'05	0'24	Nula
Cítricos	"	0'249	4'82	0'08	0'05	0'37	Nula
Aguacate	"	0'275	8'77	0'08	0'16	2'35	Nula
Matorral	76'25	0'269	17'32	0'07	1	24'86	Baja
Matorral	"	0'262	25'16	0'07	1	35'18	Moderada
Matorral	"	0'193	19'11	0'16	1	45'00	Moderada
Matorral	"	0'411	12'44	0'16	1	62'39	Acusada
Matorral	"	0'327	15'81	0'16	1	63'07	Acusada
Pradera	"	0'254	20'8	0'16	1	64'47	Acusada
Matorral	"	0'269	23'14	0'16	1	75'94	Acusada
Matorral	"	0'369	17'99	0'16	1	81'01	Acusada
Matorral	"	0'269	24'95	0'16	1	81'87	Acusada
Matorral	"	0'385	18'11	0'16	1	85'08	Acusada
Olivar	"	0'311	14'51	0'41	1	141'07	Alta
Olivar	"	0'311	14'51	0'41	1	141'07	Alta
Viñedo	"	0'411	12'44	0'41	1	159'84	Alta
Viñedo	"	0'369	15'81	0'41	1	182'41	Alta
Viñedo	"	0'333	17'99	0'41	1	187'28	Alta
Viñedo	"	0'323	22'1	0'41	1	223'14	Muy alta
Almendro	"	0'385	20'0	0'41	1	240'68	Muy alta
Viñedo	"	0'455	17'39	0'41	1	247'40	Muy alta
Viñedo	"	0'323	25'24	0'41	1	254'83	Muy alta
V-Al-Ol.	"	0'468	25'67	0'41	1	375'57	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro nº 1 podemos observar los valores de la erosión potencial obtenidos con la USLE en 23 muestras tomadas en estas laderas. La clasificación establecida para estos valores es la siguiente:

Ninguna o ligera erosión	< 10	Tm/Ha/año
Baja erosión	10- 25	"
Moderada erosión	25- 50	"
Acusada erosión	50-100	"
Alta erosión	100-200	"
Muy alta erosión	>200	"

Analizando dicho cuadro podemos deducir una serie de conclusiones:

- La mayor parte de las muestras presentan erosión de acusada a muy alta, con valores que oscilan entre 60 y 376 Tm/Ha/año; mientras que son pocos los ejemplos de valores moderados, bajos o nulos.
- Con valores similares de pendiente y longitud de ladera (factor L.S.), las zonas cubiertas con matorral tienen valores de erosión que no sobrepasan las 86 Tm/Ha/año, clasificándose como erosión acusada e, incluso, moderada o baja. Mientras que en las zonas cultivadas de secano (olivar, almendros, viñedo, etc.) se obtienen valores de más de 141 Tm/Ha/año, y casi se alcanzan las 376 Tm/Ha/año, clasificándose como erosión alta o muy alta.
- Sólo las zonas bajas de las laderas, ocupadas por cultivos de regadío, en donde utilizan prácticas de protección, como son los aterrazamientos y construcción de muros de contención, presentan erosión de tipo bajo.

Por lo tanto, se constata lo anteriormente dicho sobre la incidencia de los cultivos en estas laderas de acusada pendiente, por que, incluso si se realizan algunas prácticas rudimentarias de protección (*«sangrias»* o *«muros albarradas»*), éstas se manifiestan totalmente inoperantes en pendientes superiores al 25% frente a los aguaceros violentos. Así, las pérdidas de suelo obtenidas mediante la USLE, clasificadas del siguiente modo:

áreas de regadío	0'2	-	2'3	Tm/Ha/año
« de matorral denso	24	-	35	" " "
« de erial o matorral ralo	45	-	85	" " "
« cultivadas de secano	140	-	376	" " "

nos indican que, frente al regadío, localizado en las áreas de menor pendiente y donde son más frecuentes los procesos de acumulación de sedimentos que los de erosión, las áreas situadas en cualquier tipo de pendiente presentan variaciones sustanciales en los valores potenciales de erosión, según estén cultivadas o no, siendo mucho más elevados en las cultivadas que en las no roturadas.

Por lo tanto, en las áreas cultivadas, la velocidad de pérdida de suelo es mucho mayor que la velocidad de edafización, es decir, se pierde más suelo del que se crea, por lo que llega a la esterilidad de las parcelas cultivadas, como hemos constatado siguiendo el método de encuesta. Además, la fuerte pérdida de suelo en las zonas cultivadas supone un alto riesgo para las áreas de piedemonte por el incremento de carga sólida en el agua durante las crecidas de los torrentes que tienen origen en estas laderas y que amenazan periódicamente con inundaciones catastróficas.

LA EROSION OBSERVADA DURANTE LOS AGUACEROS DE NOVIEMBRE DE 1.989.

La erosión estimada a partir de la USLE representa unos valores medios anuales de erosionabilidad potencial. Sin embargo, hemos querido obtener valores de erosión real mediante observaciones directas y, en el curso de nuestras investigaciones, se nos presentó la ocasión con motivo de los aguaceros acaecidos en noviembre de 1.989.

Para ello escogimos cuatro laderas situadas en las filitas y metareniscas de la zona noroccidental de Los Montes y otras cuatro localizadas en las margas arcillosas de la zona centro-occidental del Corredor de Colmenar.

De las cuatro laderas de Los Montes, tres de ellas están cultivadas con almendros y se encontraban recién aradas cuando se produjo el aguacero del 14 de noviembre. La cuarta ladera estuvo cultivada con almendros, de los que quedan algunos pies viejos, pero actualmente está abandonado el cultivo y, por tanto, no estaba arada en el momento de las lluvias; al contrario, tiene un matorral ralo que cubre alrededor del 25% de su superficie.

Las cuatro laderas del Corredor están todas cultivadas de cereal, con la diferencia de que tres de ellas estaban recién sembradas (y por tanto aradas) cuando se produjeron los aguaceros; mientras que una estaba en barbecho, es decir, sin labrar.

Las laderas escogidas se encuentran en un área en la que, según la información recogida en cinco estaciones pluviométricas cercanas, se produjeron, en todas, cinco aguaceros de más de 30 l/m² desde el 14 al 26 de noviembre (13 días), destacando los producidos el día 14, que fueron superiores a 100 l. y algunas alcanzaron los 160 l., teniendo en cuenta que los del primer día se dieron en un tiempo máximo de 3 horas.

Para evaluar la erosión producida seguimos las siguientes etapas:

1) Evaluación de la erosión.

Como no teníamos controladas ninguna de estas laderas mediante estaciones de observación, tras una serie de encuestas a los campesinos, dedujimos que todos los canalillos producidos por la escorrentía superficial y que aparecían en todas las laderas escogidas habían sido originados por las lluvias caídas entre el 14 y el 26 de noviembre de 1.989, ya que antes de esas fechas los campos estaban arados y habían desaparecido los canalillos causados por las lluvias primaverales. En el caso del campo de barbecho, el cereal protegió el campo durante las lluvias de primavera.

Por ello, en cada una de las laderas tomamos muestras cada 25 m. alternativos en una distancia de 100 m., medidos transversalmente a la ladera, de forma que se cortase un número de canalillos que se habían producido siguiendo líneas subparalelas a lo largo de la vertiente. Cada uno de dichos canalillos, en cuanto que tienen una marcada sección transversal en V, fue identificado por su anchura y profundidad, de tal manera que se pudiese obtener el área de su sección como la de un triángulo.

Tras el muestreo de 100 m. transversales de ladera se obtiene la media del nº de canalillos, así como el área de su sección, en 25 m.

Dicha sección media se multiplica por 25 m. o por 100 m. de largo y nos permite cubicar el vacío producido en una sección de canalillo de 25 m. o de 100 m. de longitud, cuyo resultado, una vez multiplicado por el nº medio de canalillos existentes en 25 m. y en 100 m. transversales, nos permite estimar la pérdida de suelo por m². o por Ha. de ladera.

Finalmente, hemos calculado la densidad aparente del suelo en cada una de las laderas, habiendo obtenido unos valores medios de 1'32 para las margas arcillosas del Corredor y de 1'38 para las filitas y metareniscas de Los Montes (9), con lo que podemos expresar también las pérdidas de suelo en Kg/m² o en Tm/Ha.

Lógicamente, con este sistema se nos escapan las pérdidas producidas por escorrentía laminar, ya que al no producir canalillos, no se pudo medir.

Con este procedimiento se han obtenido los resultados expuestos en el cuadro nº 2. En él se puede observar que las pérdidas de suelo, tanto en Los Montes de Málaga como en el Corredor de Colmenar, han sido extremadamente altas, alcanzándose en cinco laderas valores de más de 500 Tm/Ha. y en dos de ellas más de 1.000 Tm/Ha., con lo que se puede hablar de erosión catastrófica.

CUADRO Nº 2.

EROSIÓN OBSERVADA DURANTE LOS AGUACEROS DE NOVIEMBRE DE 1.989.

Ladera Uso	Montes de Málaga (filitas, metareniscas)				Corredor de Colmenar (margas arcillosas)			
	1 Almendral	2 Almendral	5 Almendral	6 Abandonado (almendral)	3 Cereal (barbecho)	7 Cereal (sembrado)	8 Cereal (sembrado)	9 Cereal (sembrado)
Longitud Ladera	300	300	600	600	200	300	600	300
Pendiente	50	38	45	51	21	14	22	17
Altitud muestreo	500	500	450	450	500	520	550	510
Zona de ladera	Med-baja	Med-baja	Med-baja	Med-baja	Media	Media	Media	Media
Nº canalillos 25 cm.	20	19	25	5	34	27	30	16
Prof. media (cm.)	35	18'36	15'16	12'8	9'88	20'77	21'8	27'56
Anchura med. (cm.)	55'78	41'31	26'56	53'8	15'41	34'77	32'9	45'93
Prof. suelo (cm.)	29'2	17'6	17'3	20	90	100	95	100
Pérdida de suelo:								
Kg/m ² :	107'7	39'7	55'6	9'5	13'5	50'7	111'7	52'6
Tm/Ha.:	1077	397'7	556'6	95	134'6	507	1117'7	526'5

Fuente: *Elaboración propia.*

(9) MORGAN, R. P. C., et al., 1.982, *Stability of agricultural ecosystems: documentation of a simple model for soil erosion assessment*. Collaborative Papers, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxemburg, Austria, CP-82-59, p. 7.

Por otro lado, se puede observar también que en la ladera nº 6, de almendral abandonado, con matorral ralo y sin arar, se reduce notablemente la pérdida de suelo en comparación con las restantes laderas de Los Montes. Igualmente, en las laderas del Corredor, en la nº 3, que se encontraba sin labrar en el momento de las lluvias, se reduce también la erosión de forma considerable en relación con las otras laderas vecinas, que estaban sembradas.

2) Verificación de los resultados.

Para contrastar las pérdidas calculadas hemos buscado unos valores de referencia utilizando la U.S.L.E. (*Universal Soil Loss Equation*), aplicándola a cada una de las laderas estudiadas, con lo que se ha obtenido su erosión potencial, mediante la ecuación ya conocida: $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$, en la que

A= Pérdidas de suelo en Tm/Ha/año.

El **factor R** se ha calculado en series de 10 años sobre dos estaciones pluviométricas, Serranillo, para la zona de filitas y metareniscas de Los Montes, y Colmenar, para la zona de margas arcillosas del Corredor, mediante la ecuación:

$$R = 2'375 (PD2) + 0'513 (PMEX) - 94'4, \text{ cuyo resultado se obtiene en } J/m^2/cm. (10).$$

Para PD2 (precipitación media de las máximas observada en la serie de años estudiada y con un periodo de retorno de 2 años) se ha obtenido un valor de 64'014 l/m² para Serranillo y 66'13 l/m² para Colmenar.

PMEX (precipitación media del mes más lluvioso de la serie considerada) alcanza un valor de 107'83 l/m² en Serranillo y 63'33 l/m² en Colmenar. Con ello se obtienen los siguientes valores para R:

$$\text{Serranillo: } R = 112'93 \text{ J/m}^2/\text{cm}.$$

$$\text{Colmenar: } R = 95'147 \text{ J/m}^2/\text{cm}.$$

que indican la erosionabilidad media de los aguaceros máximos de la zona.

El **factor K** se ha calculado mediante la ecuación:

$$K = 10^{-4} \cdot 2'71M^{1'14} \cdot (12-a) + 4'2(b-2) + 3'23(c-3)/100$$

Para las laderas sobre filitas, con textura franco-arcillosa, M=3.600 (40% de arcilla); a= 4 (contenido en humus medio- bajo); b= 2 (textura fina); c= 6 (baja permeabilidad).

Para las zonas de margas, con textura arcillosa, M= 400 (80% de arcilla); a= 5 (contenido en humus medio-bajo); b= 3 (textura gruesa: grumos y migas gruesas); c= 6 (baja permeabilidad).

En esta comunicación se presenta una relación de densidades aparentes en las que se da un valor a las margas arcillosas de 1'3, igual que el obtenido por nosotros directamente de las muestras de campo. Para las filitas no da ningún valor, pero por su textura franco-arenosa, el valor que señala para la arena fina (1'4) es semejante al alcanzado en las muestras de campo (1'38).

(10) ICONA, 1986, *Estudio integrado del medio físico de la cuenca del río Adra*, VII, Pérdidas de Suelo, Proyecto LUCDEME, Granada, p. 9. Se trata de una ecuación válida para las cuencas del sur de España y área costera de la cuenca del río Segura. Hemos visto su utilidad también al aplicarla en el área de Montes de Málaga y Corredor de Colmenar.

Con ello, los valores medios de K son: 0'35 para las filitas y 0'156 para las margas.

El **factor L.S.** (L= longitud de la ladera, S= valor de la pendiente), se ha obtenido mediante dos tipos de ecuaciones:

$$\text{Para } S > 30\% : \text{L.S.} = (\lambda/22'1)^{0'3} (s/9)^{1'3}$$

$$\text{Para } S < 30\% : \text{L.S.} = (\lambda/22'1)^m (0'43 + 0'35S + 0'043S^2 / 6'613)$$

y en las laderas estudiadas se llega a los valores siguientes:

- 1.- L=300 m., S= 50% ; **L.S.= 20'32**
- 2.- L=300 m., S= 38% ; **L.S.= 14'22**
- 5.- L=600 m., S= 45% ; **L.S.= 21'82**
- 6.- L=600 m., S= 51% ; **L.S.= 25'67**
- 3.- L=200 m., S= 21% ; **L.S.= 14'57**
- 7.- L=300 m., S= 14% ; **L.S.= 9'44**
- 8.- L=600 m., S= 22% ; **L.S.= 30'52**
- 9.- L=300 m., S= 17% ; **L.S.= 12'99**

El **factor C** se ha obtenido aplicando los valores propuestos en el Proyecto LUCDEME en la cuenca del río Adra (11). Considerando que todas las laderas estudiadas presentan cultivos, bien de cereales (con remoción del suelo por laderas por lo menos una vez al año), o bien de almendros (labrados también una vez al año), asignamos valores de 0'41 a las laderas con almendros (a pesar de que la plantación es dispersa) y 0'26 a las laderas cultivadas con cereal. Sin embargo, a la ladera nº 6, que es un almendral abandonado, con escaso matorral, se le ha asignado el valor del erial, 0'16.

Finalmente, el **factor P**, de protección, en cuanto que es inexistente en todas las laderas, se le asigna el valor 1 en general.

Así se obtienen los siguientes resultados de A (susceptibilidad de erosión en Tm/Ha./año) para las laderas estudiadas:

CUADRO Nº 3.
SUSCEPTIBILIDAD DE EROSIÓN.

PARCELA Nº	R	K	LS	C	P	A Tm/Ha/año	Clase	EROSION OBSERVADA (TM/Ha)
1	112'93	0'35	20'32	0'41	1	326'5	Muy alta	1.077
2	112'93	0'35	14'22	0'41	1	230'44	Muy alta	397'7
5	112'93	0'35	21'82	0'41	1	353'6	Muy alta	556'6
6	112'93	0'35	25'67	0'16	1	162'3	Alta	95
3	95'15	0'156	14'57	0'26	1	56'22	Acusada	134'6
7	95'15	0'156	9'44	0'26	1	36'06	Moderada	507
8	95'15	0'156	30'52	0'26	1	117'79	Alta	1.177'7
9	95'15	0'156	12'99	0'26	1	50'13	Acusada	526'5

Fuente: *Elaboración propia.*

Considerando la clasificación de la erosión según la U.S.L.E. y que indicamos en páginas anteriores se observa que:

- a) Las laderas cultivadas sobre filitas y metareniscas de Los Montes, con pendientes observadas entre 38-51%, tienen erosión potencial muy alta.
- b) Sin embargo, en la ladera nº 6, con almendral abandonado, la susceptibilidad de erosión baja a 162'3 Tm/Ha./año, siendo considerada sólo como alta.
- c) Las laderas cultivadas sobre margas arcillosas del Corredor, con pendientes observadas entre 14-22%, tienen una susceptibilidad de erosión muy inferior a la de Los Montes, con valores por debajo de las 60 Tm/Ha./año, considerándose entre acusada y moderada. La excepción la representa la ladera nº 8, en donde la mayor longitud (L) y la mayor pendiente (S) elevan la erosión potencial a más de 100 Tm/Ha./año (117'79 Tm.), por lo que ha de considerarse de clase alta.

Al comparar la erosión potencial (A) con la erosión observada, podemos señalar que:

- 1) La erosión observada es bastante superior a los valores de la susceptibilidad de erosión obtenidos con la USLE; pero hay que notar que el volumen de los aguaceros ($> 100-160 \text{ l/m}^2$) estuvo muy por encima del valor medio que hemos introducido en el factor R ($64-66 \text{ l/m}^2$).
- 2) Al buscar el *coeficiente de correlación de Pearson* entre la erosión potencial (A) y la erosión observada en el campo, según el sistema descrito anteriormente, hemos obtenido los siguientes resultados:
 - en las filitas y metareniscas de Los Montes, es una correlación lineal positiva, por lo que las variaciones de la susceptibilidad de erosión (A) lo hacen en el mismo sentido que las de la erosión observada y, además, el valor del coeficiente de correlación es $r= 0'78$. En cuanto que este coeficiente tiene unos valores comprendidos entre 0 y ± 1 y el valor 1 indica la correlación perfecta, el valor r obtenido en este caso lo consideramos alto.
 - en las laderas margosas del Corredor, la correlación también es lineal y positiva, con un coeficiente $r= 0'79$, es decir, también alto. Pero en el modelo (USLE) no hemos introducido el imput del barbecho de la ladera nº 3, por lo que su erosión potencial es más elevada que la de las laderas números 7 y 9; mientras que su valor en la erosión observada es inferior a la de dichas vertientes, porque se encontraba sin labrar cuando se produjo el aguacero. Por ello, si no tenemos en cuenta dicha ladera y sólo consideramos las vertientes 7, 8 y 9, el coeficiente de correlación entre la erosión potencial observada se eleva a $r=0'99$. Y aún más, si consideramos la parcela nº 3 como erial, el valor de A disminuye, con lo que el coeficiente de correlación, contando las cuatro laderas (3-7-8-9) es de $r=0'92$.

Así que, tanto en Los Montes como en el Corredor los coeficientes de correlación entre el modelo y la observación directa son elevados, por lo que consideramos que, a pesar de que el número de muestras sea corto, el método de evaluación de la erosión producida por los aguaceros de noviembre, es válido. Igualmente, se deduce que la aplicación de la USLE en esta zona también es correcta.

De este análisis se pueden deducir conclusiones similares a las que obtuvimos en las estimaciones de la erosión en la zona oriental de los Montes, sólo que verificadas por la observación directa del proceso y su comparación con el modelo.

En primer lugar, el alto riesgo de erosión a que está sometida esta zona, sobre todo durante fuertes aguaceros.

En segundo lugar, los altos valores de erosión observados en las áreas cultivadas, mientras que en las laderas no roturadas la pérdida de suelo se reduce considerablemente.

De ahí, la dudosa racionalidad de mantener cultivando estas laderas con cultivos marginales, que lo único que consiguen es potenciar los procesos erosivos.

3) Estimación del periodo de retorno.

En cuanto se ha señalado el alto riesgo de erosión con fuertes aguaceros, hemos querido estimar la previsión del periodo de retorno para aguaceros superiores a 30 mm./cm² caídos en 24 horas, en cuanto que este volumen de precipitación ya se considera torrencial. Para ello se ha utilizado una serie disponible de 10 años en las estaciones de Serranillo (situada a 630 m. de altitud en Los Montes de Málaga) y de Colmenar (situada en el Corredor de su nombre, a 696 m.).

En el cuadro nº 4 se puede observar el número de veces que en 10 años se han repetido precipitaciones con más de 30 mm. en la zona estudiada, y se deduce que la frecuencia es verdaderamente alta: una media de 50 veces en 10 años, o de 5 veces al año.

Mediante la *distribución de Poisson*, se ha calculado la probabilidad de que dichos aguaceros (P) se repitan varias veces en 1 año (ninguna vez, una, dos, tres, cuatro, cinco y diez veces) y los resultados se reflejan en el cuadro nº 5.

CUADRO Nº 4.

FRECUENCIAS DE PRECIPITACIONES TORRENCIALES.

Precipitaciones en 24 horas (mm.)	Nº de veces en 10 años.	
	Serranillo	Colmenar
30-49 mm.	38	34
50-74 mm.	12	7
75-99 mm.	4	4
≥ 100 mm.	1	1
Total de veces con Pp. ≥ 30 mm.	55	46

Fuente: *Elaboración propia.*

CUADRO N^o 5.

PROBABILIDAD DE PRECIPITACIONES TORRENCIALES.

Serranillo	P(0)	P(1)	P(2)	P(3)	P(4)	P(5)	P(10)
> 100 mm.	0'9	0'09	0'0045	(*)	(*)	(*)	(*)
> 75 mm.	0'61	0'303	0'076	0'0126	0'0016	(*)	(*)
> 50 mm.	0'18	0'31	0'264	0'149	0'063	0'02	(*)
> 30 mm.	0'004	0'022	0'062	0'113	0'156	0'171	0'028

Colmenar	P (0)	P (1)	P (2)	P (3)	P (4)	P (5)	P (10)
> 100 mm.	0'9	0'09	0'0045	(*)	(*)	(*)	(*)
> 75 mm.	0'61	0'303	0'076	0'0126	0'0016	(*)	(*)
> 50 mm.	0'301	0'361	0'217	0'087	0'026	0'006	(*)
> 30 mm.	0'01	0'046	0'106	0'163	0'187	0'172	0'011

(*)= Despreciable ($< 10^{-4}$ veces al año)

Fuente: Elaboración propia.

Como vemos en ambas estaciones, las probabilidades de que se presenten precipitaciones superiores a 100 y 75 mm. son similares:

- Las precipitaciones superiores a 100 mm. se pueden presentar 0'09 veces en un año, es decir, 0'9 veces en diez años (casi 1 vez cada diez años). La probabilidad de que se presente dos veces al año es infrecuente, pero si se puede producir casi 1 vez cada 200 años, 0'0045 (según la serie estudiada). En ambas estaciones los resultados son similares.
- Las precipitaciones superiores a 75 mm. (incluyendo en ellas las superiores a 100 mm.), se pueden presentar 3 veces en 10 años (0'303 veces al año) en ambas estaciones; mientras que la probabilidad de que se presenten dos veces en un mismo año este tipo de precipitaciones se da en torno a un periodo de 13 años. Finalmente, la probabilidad de que se presente tres veces en un mismo año sólo se repite una vez casi cada 100 años.
- En cuanto a las precipitaciones superiores a 50 mm. se presentan diferencias entre las dos estaciones. En la estación de Serranillo este tipo de precipitaciones se puede presentar una sólo vez al año con una frecuencia de tres veces en diez años; la posibilidad de que se repitan dos veces en un mismo año se presenta poco más de dos veces en diez años, y de que se repitan tres veces al año en torno a 2 veces en quince años; la posibilidad de que se presente 5 veces en un mismo año se produce cada 50 años. En la estación de Colmenar los valores son algo más bajos, salvo en la posibilidad de que la precipitación superior a 50 mm. se produzca una sólo vez al año, que se presenta casi 4 veces cada 10 años (0'361); la posibilidad de que las precipitaciones superiores a 50 mm. se repitan 4 veces en un mismo año se presenta casi una vez cada 40 años.

- d) Finalmente, en cuanto a los valores de precipitaciones superiores a 30 mm., en ambas estaciones no es frecuente que no existan precipitaciones superiores a 30 mm. en un año. Las probabilidades de que se presenten estas precipitaciones alcanzan su máximo valor en Serranillo en la posibilidad de que sucedan 5 veces al año, que ocurre casi 2 veces cada 10 años; en Colmenar ocurre lo mismo con la probabilidad de que estas precipitaciones se presenten 4 veces al año. En ambas estaciones los valores más elevados se presentan a partir de la repetición de este suceso dos veces al año (hasta alcanzar los valores comentados). La posibilidad de que este suceso se presente 10 veces en un mismo año ocurre más a menudo en Serranillo (cerca de 1 vez cada 40 años) que en Colmenar (casi 1 vez cada 100 años).

De este análisis podemos deducir que, según la serie estudiada, el período de retorno para que se produzcan los distintos volúmenes de precipitaciones torrenciales por lo menos una vez al año sería el siguiente:

Precipitaciones:

- > 100 mm. casi 1 vez en 10 años.
- > 75 mm. 3 veces en 10 años.
- > 50 mm. 3-4 veces en 10 años.
- > 30 mm. es poco probable que no se presente 1 vez al año.

Así que, si con los aguaceros del 14 de noviembre que superaron los 100 mm. en 24 h., observamos los valores de erosión que hemos expuesto más arriba, se puede deducir que este fenómeno se repite con bastante frecuencia en la zona estudiada, por lo que podemos hacernos una idea de la enorme cantidad de suelo que se ha perdido en el área estudiada durante décadas.

Pero no es necesario esperar 10 años para observar volúmenes considerables de erosión, ni que se produzcan aguaceros de más de 100 mm. en 24 h.

En los días 7-8 de noviembre de 1.990, un año después de los aguaceros antes estudiados, se recogieron 20 mm. de precipitación en 24 h. en la estación de Rompedizo (Aeropuerto), cercana a la Facultad de Letras de Málaga.

En una ladera de margas arcillosas de 50 m. de longitud y 11% de pendiente, en la que las máquinas excavadoras habían desmantelado toda la formación superficial y dejado al desnudo la roca madre sin alterar, hemos medido, con el mismo método que en Los Montes y en el Corredor de Colmenar, una pérdida de suelo de 5'684 kg./m²., equivalente a 56'84 Tm/Ha.

Habiendo aplicado la USLE a dicha ladera, nos da un resultado de $A = 42'95$ Tm/Ha/año, con un precipitación máxima calculada en 72'27 mm. (con periodo de retorno de dos años), valor que, al compararlo con la erosión observada, deducimos que, de una sola vez, se ha perdido un poco más del valor de la potencialidad de erosión estimada por la USLE en un año.

CONCLUSIONES.

Después de estas estimaciones y valoraciones de la erosión, en la zona suroriental de la provincia de Málaga, podemos deducir que:

- a) - Dados los factores climáticos: torrencialidad de las precipitaciones y frecuencia con que se producen aguaceros, etc.

- Dados los factores topográficos: fuertes pendientes (12-21% y 21-55%).
- Dados los factores litológicos: litología poco resistente.
- Dados los factores humanos: roturaciones, cultivos.

Se puede considerar esta zona como de alto riesgo o muy alto riesgo de erosión.

- b) - Analizadas las diferencias en los valores de erosión que se establecen entre las áreas roturadas y sin cubierta vegetal y las no roturadas y con protección de la vegetación, es necesario, ante el evidente riesgo geomorfológico que existe, que se tomen las debidas precauciones a la hora de actuar sobre el territorio y que se reflexione sobre la posible racionalización de las actuaciones agrícolas existentes.

Málaga, Diciembre de 1.990.