

VALORACIÓN DE PAISAJES EROSIVOS EN EL CAMPO DE GIBRALTAR (CÁDIZ-ESPAÑA)

A. Jordán López / N. Bellinfante Crocci / G. Paneque Guerrero
Dpto. de Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.

1.- RESUMEN

En el presente estudio se realiza la cartografía de estados erosivos de la porción NE de la comarca del Campo de Gibraltar. Se describió el riesgo de erosión de la zona mediante un método basado en el utilizado por PAP/RAC (1997), y se realizó la descripción de los procesos erosivos dominantes y de su intensidad. A pesar de encontrarse sobre terrenos de fuerte pendiente, con un alto riesgo de erosión, los suelos cubiertos por una densa cobertura forestal se hallan fuertemente protegidos de la erosión hídrica. Sin embargo, zonas cultivadas de los valles de los ríos Guadiaro y Hozgarganta, a pesar de su escaso riesgo de pérdida de suelo, ofrecieron signos de erosión laminar y en regueros en una gran extensión, habiendo desarrollado, incluso, cárcavas de forma muy local. Se ha comprobado que una gran parte del área estudiada se ve afectada por procesos graves de erosión acelerada por causa del manejo inadecuado del terreno.

2.- ABSTRACT

The mapping of erosive status in the NE part of Campo de Gibraltar is carried out in this paper. The risk of erosion in the area was described following a method based on that by PAP/RAC (1997). Also, the description of the main erosive process in each site and of its intensity was done. In spite of being on lands of strong slope, with a high erosion risk, soils covered by a dense forest canopy are strongly protected from the water erosion. However, cultivated areas in the valleys of the rivers Guadiaro and Hozgarganta, in spite of their low risk of soil loss, offered erosion signs as sheet and rill erosion in a great extension, having developed, even, gullies in some places, due to not very appropriate agricultural use. It has been proved that an important part of the studied area is affected by accelerated erosion because of land use by Man.

3.- INTRODUCCIÓN

El paisaje actual en la cuenca mediterránea es el resultado de un profundo cambio realizado por el hombre en el medio ambiente. La deforestación y la explotación de tierras marginales, no apropiadas para la agricultura, han conducido a la degradación del medio. No hay ninguna duda de que la erosión del suelo es uno de los principales problemas para agricultura, con más de 200.000 km² de territorio en serio riesgo de erosión en la cuenca mediterránea de los países de la UE (Giordano & Marchisio, 1989). En las cuencas mediterráneas españolas, una superficie de suelo mayor de 100.000 km² se ve afectada por tasas de erosión mayores de 12 tm/ha/año (ICONA, 1983-1988). Los principales factores físicos que inducen los procesos erosivos en la región son la alta irregularidad de las lluvias, la gran erodibilidad de los suelos, la falta de materia orgánica y las altas pendientes (PAP/RAC, 1997). Hay también factores socio-económicos que influyen en la erosión del suelo, como el abandono de la tierra, la frecuencia de los incendios, o el sobrepastoreo y la sobreexplotación (Kelley, 1990; PAP/RAC, 1997). El Campo de Gibraltar es un área natural donde la irregularidad del clima, la actuación de los procesos químicos, la degradación de la cubierta vegetal, la litología y las pendientes pronunciadas forman un conjunto de factores erosivos especialmente agresivos (Ibarra, 1993). Por otra parte, la mayoría del territorio está constituida por tierras marginales o con una baja capacidad de uso (CEBAC, 1963; de la Rosa & Moreira, 1987).

Trabajos similares han realizado la cartografía de estados erosivos a escalas regionales (ICONA, 1983-1988) o a escala de detalle en otras zonas del mundo (Bougonoviae *et al.*, 1999). La erodibilidad del suelo se ha calculado frecuentemente a partir de la naturaleza litológica del sustrato (ICONA, 1983-1988; Díaz-Fierros & Benito, 1991). Algunos autores han realizado algunas aportaciones relacionando el concepto de estados erosivos y los procesos actuantes (Perles, 1994-95). Sin embargo, no se ha realizado en la zona una interpretación de los procesos erosivos geomorfológicamente activos, así como de su intensidad en relación con el riesgo de erosión. Recientemente se han realizado una aproximación a la cartografía de estados erosivos incluyendo el estudio de los principales procesos geomorfológicos (Bellinfante *et al.*, 1999).

En el presente estudio se divide el área representada en la hoja 1071 del Mapa Topográfico de Andalucía (MTA) E 1:50.000 (Fig. 1) en paisajes erosivos homogéneos (estados erosivos), a la vez que se caracterizan los procesos erosivos actuantes y se mide su influencia.

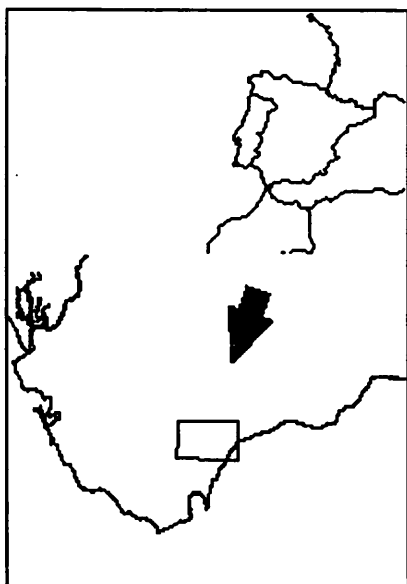


Figura 1. Localización general de la zona de estudio, en el área del Estrecho de Gibraltar.

4.- MÉTODOS

Para cartografiar los estados erosivos, se han tenido en cuenta los siguientes factores y parámetros principales: la clase de pendiente y la naturaleza litológica del sustrato (utilizados para realizar el mapa de erodibilidad del suelo), el uso del territorio y la cobertura de la vegetación (cuya información combinada permitió realizar el mapa de protección del suelo). La integración de estos factores nos permite dividir la superficie del territorio en unidades estables, no afectadas por erosión, y unidades inestables, afectadas por erosión. La cartografía de estados erosivos se realizó mediante un método basado en el utilizado por PAP/RAC (1997) en 6 pasos: mapa de pendientes, mapa de litofacies (establecidas según la Tabla 1), mapa de erodibilidad, mapa de uso del suelo, mapa de cobertura de

Litofacies	Material
1	Roca compacta no alterada; suelos muy poco desarrollados o conglomerados fuertemente cementados; afloramientos de calizas masivas, suelos muy pedregosos, rocas ígneas.
2	Suelos o rocas consolidadas fracturadas y/o moderadamente alteradas.
3	Rocas sedimentarias ligera o moderadamente compactadas, como esquistos, margas consolidadas, etc.
4	Suelos y/o rocas deleznales o profunda/fuertemente alteradas (margas, yesos, arcillas, etc.).
5	Sedimentos no consolidados y materiales detríticos.

Tabla 1. Determinación de las clases de litofacies obtenidas a partir de la cartografía geológica de la zona (ITGE, 1994), según PAP/RAC (1997).

la vegetación y, finalmente, el mapa de protección del suelo. En cada caso se realizó el trazado de los polígonos sobre material indeformable transparente, colocado sobre imágenes de satélite en falso color (Landsat), corregidas y georreferenciadas para evitar la deformación geométrica. La totalidad de la información gráfica fue procesada mediante un sistema de información geográfica, ARC/INFO (1982-1997) y explotada mediante ArcView GIS (ESRI, 1992-1996).

Mapa de estados erosivos: El mapa de estados erosivos se obtuvo mediante la superposición del mapa de erodibilidad y el mapa de protección del suelo, combinando la información de ambos. De esta forma, pudieron determinarse 5 niveles de riesgo de erosión, siguiendo unos criterios basados en PAP/RAC (1997):

- 1.- Riesgo de erosión muy bajo.
- 2.- Riesgo de erosión bajo.
- 3.- Riesgo de erosión moderado.
- 4.- Riesgo de erosión alto.
- 5.- Riesgo de erosión muy alto.

Procesos erosivos: Mediante fotointerpretación y posterior comprobación y valoración en el campo se estudió la actuación de los distintos procesos erosivos (clasificados como se muestra en la Tabla 2) y de su intensidad (con valores distribuidos en un rango de 0 a 4).

Código	Proceso dominante
1	Erosión laminar y en regueros (<50 cm de profundidad)
2	Erosión en regueros y arroyos (50-150 cm de profundidad)
3	Erosión en arroyos y barrancos (>150 cm de profundidad)
4	Erosión vertical en red fluvial
5	Erosión lateral en red fluvial
6	Erosión eólica

Tabla 2. Codificación de los procesos erosivos dominantes.

5.- RESULTADOS

En la Fig. 2 se muestra el mapa de estados erosivos del área de estudio. Geomorfológicamente, la zona se puede dividir en diversos tipos de unidades:

- Unidades de morfogénesis endógena estructural en el área de estudio: las Sierras del Algibe (arenisca silícea del Oligoceno) en la porción más occidental, y las sierras de Cortes y Sierra Bermeja (esquistos del Paleozoico y rocas ultrabásicas, respectivamente) al NE de la zona.
- El tercio central de la superficie está formado por unidades de morfogénesis denudativa, asociadas al sistema morfofluvial del valle de los ríos Guadiaro y Hozgarganta. A veces, estas unidades presentan una fuerte influencia estructural.
- Con menor representación, se observan zonas de morfogénesis litoral y eólica o fluviomareal, en bandas estrechas asociadas a la costa y a los estuarios.

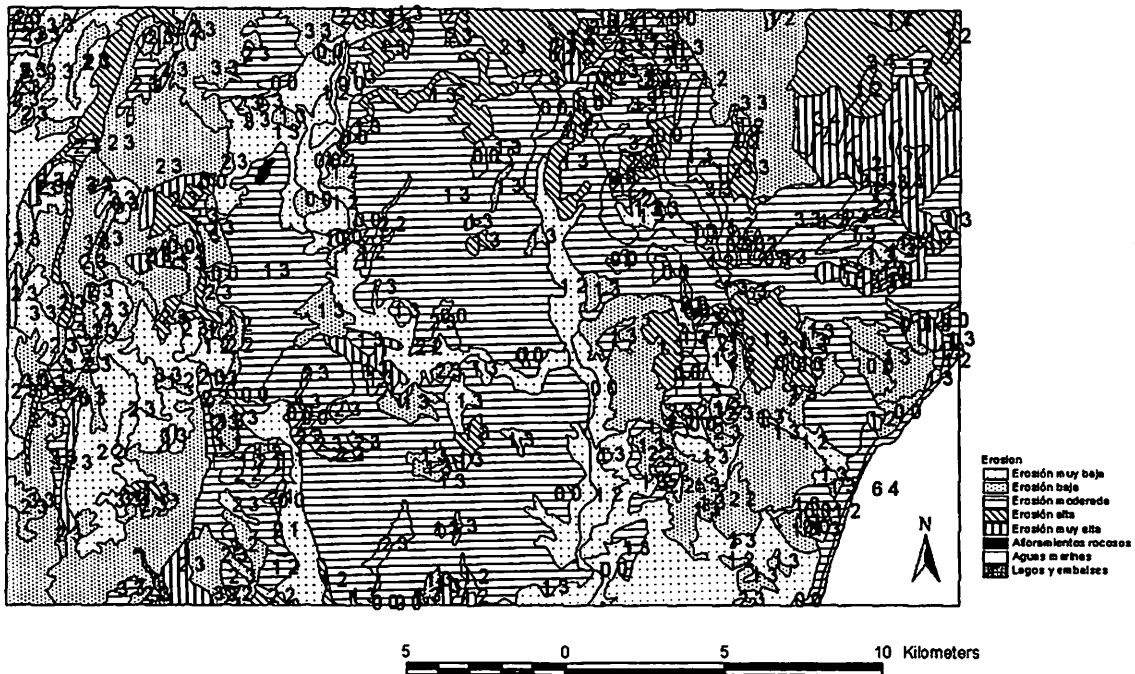


Figura 2. Mapa de estados erosivos de la hoja 1071 del MTA (Jimena de la Frontera). Procesos erosivos (primer índice): 0, erosión poco significativa; 1, erosión laminar y en regueros; 2, erosión en regueros y arroyos; 3, erosión en arroyos y barrancos; 6, erosión eólica. Intensidad del proceso (segundo índice): 0, inapreciable; 1, menos del 25% de la superficie se halla afectada; 2, 25-50%; 3, 50-75%; 4, más del 75%.

A pesar de las fuertes pendientes que existen en las laderas de las Sierras del Algibe, que oscilan normalmente entre el 21 y el 36% (aunque frecuentemente superan el 76%), el suelo está protegido de la erosión hídrica por una densa cobertura arbórea (principalmente de *Quercus suber* y *Q. canariensis*) o por matorral leñoso. El suelo es fuertemente ácido (Bellinfante *et al.*, 1997; Paneque *et al.*, 1998), y está formado por Leptosoles, Regosoles, Luvisoles y Cambisoles (según FAO-ISRIC-ISSS, 1998) que se reparten formando complejos de suelo o microcatenas (según Zachar, 1982) dependiendo de factores

como la orientación de la pendiente, la humedad edáfica o la vegetación como ya se ha visto en otros trabajos (Bellinfante *et al.*, 1997; Jordán *et al.*, 1998). Salvo en algunos puntos aislados, las sierras de arenisca fueron clasificadas como 1 ó 2 (riesgo de erosión bajo y muy bajo). Las zonas formadas por sedimentos coluviales y las cumbres desprovistas de vegetación recibieron un valor más alto. Sierra Bermeja y el complejo paleozoico de Cortes recibieron valores altos de riesgo de erosión, especialmente la primera, que presenta una cobertura vegetal muy baja en su cara S, así como pendientes muy elevadas. Los suelos más representativos de esta sierra son los Leptosoles líticos, éutricos y móllicos, en las zonas de mayor pendiente, y Cambisoles éutricos y crómicos bajo condiciones más estables (Aguilar *et al.*, 1998; Paneque *et al.*, 1988). El riesgo de erosión en Sierra Bermeja se valoró como 4 y 5 (riesgo de erosión alto y muy alto) en áreas sin protección, y 3 (erosión apreciable) en Los Reales, bajo el bosque de *Abies pinsapo*.

Los terrenos pertenecientes al Flysch margo-areniscoso de Algeciras poseen una pendiente más suave, y constituyen un paisaje acolinado y con lomas bajas, cubiertas de matorral o pastos. Sobre este sustrato arcilloso-margoso-areniscoso se desarrollan con frecuencia Regosoles calcáricos y Calcisoles háplicos. A pesar de las bajas pendientes, pueden percibirse con claridad muchas señales de erosión intensa, como arroyos y cárcavas. La inestabilidad mecánica del sustrato incrementa el riesgo de erosión, de modo que el valor asignado a estas unidades fue de 3 (erosión apreciable).

Las unidades de morfogénesis fluvial, asociadas a los ríos principales de la zona de estudio (Guadiaro y Majaceite) poseen valores de pendiente por debajo del 3%. El uso dominante en estas zonas es la agricultura intensiva en regadío. El riesgo de erosión asignado a estas zonas fue de 1 (erosión muy baja).

6.- CONCLUSIONES

La distribución de la superficie correspondiente a cada clase de riesgo de erosión y a los distintos procesos erosivos muestra patrones diversos (Fig. 3). El tipo de proceso más extendido es la erosión laminar y en regueros. La erosión laminar es la desaparición a causa del agua de lluvia de una delgada lámina de suelo, poco apreciable anualmente, pero cuya acción continuada puede hacer desaparecer varias toneladas de suelo por hectárea (Kelley, 1990). En total, la erosión laminar y en regueros afecta al 47% de la zona estudiada.

La intensidad de las precipitaciones torrenciales, distribuidas de forma irregular a lo largo del año, tienen un fuerte efecto erosivo sobre el suelo, tal como sucede en otros puntos de la región Mediterránea (López & Romero, 1992-93)

Las áreas con muy bajo riesgo de erosión, como zonas forestales con densa cobertura vegetal, o zonas agrícolas asociadas al valle del Guadiaro y el Hozgarganta, ofrecen también signos de la acción de los

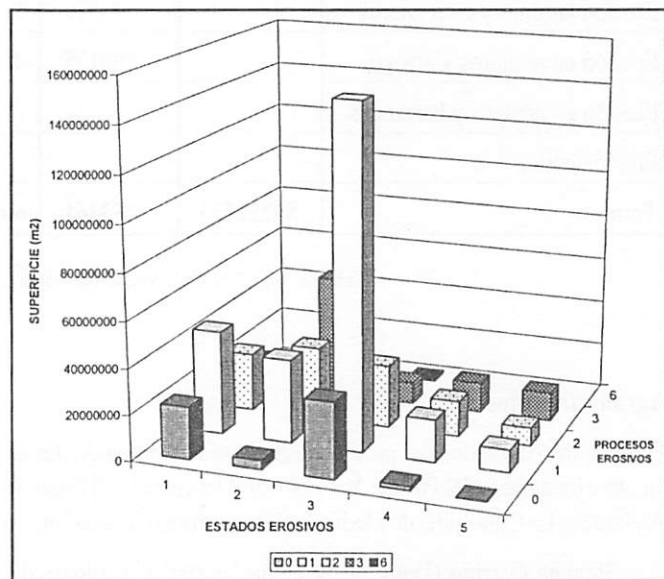


Figura 3. Distribución de los procesos erosivos según el riesgo de erosión (estado erosivo). Estados erosivos: 1, áreas estables con riesgo de erosión muy bajo; 2, riesgo bajo; 3, riesgo moderado; 4, riesgo alto; 5, riesgo muy alto. Procesos erosivos: 0, erosión poco significativa; 1, erosión laminar y en regueros; 2, erosión en regueros y arroyos; 3, erosión en arroyos y barrancos; 6, erosión eólica.

procesos erosivos (Figura 3). Las zonas valoradas como 1 (riesgo de erosión muy bajo) presentan un 8% de su superficie afectada por erosión laminar y en regueros, un 5% por regueros y arroyos y un 2% afectado por la formación de cárcavas, a veces con una profundidad igual o mayor que 2 m. En las zonas agrícolas, prácticas inadecuadas (como el laboreo a favor de la pendiente, entre otras) han acelerado la acción erosiva de las lluvias, como se ha puesto de relieve en otros estudios de zonas semiáridas (del Valle & del Val, 1990). Por otra parte, la deforestación y la roza excesiva del matorral en zonas forestales son fenómenos que inducen la erosión en zonas inicialmente protegidas de ella.

En la Tabla 3 se muestra la superficie afectada por cada tipo de proceso erosivo y la intensidad de éste. Como se puede observar, el 74% de la superficie está afectada por distintos procesos con intensidad moderada o alta. Además, el 18% de la superficie se halla afectada por erosión en arroyos y barrancos (grietas de más de 150 cm de profundidad) con distintos grados de intensidad.

INTENSIDAD DEL PROCESO						
PROCESO EROSIVO	Inactividad	Actividad muy baja	Actividad baja	Actividad moderada	Actividad alta	Total
Erosión no detectada	83752753					83752753
Erosión laminar y en regueros		695337	39085991	218454348		258235676
Erosión en regueros y arroyos		458125	21152875	86863963		108474963
Erosión en arroyos y barrancos			748402	77477375	23171414	101397190
Erosión eólica					1203783	1203783
Total	83752753	1153461	60987268	382795686	24375197	553064365

Tabla 3. Superficie (m²) ocupada por cada tipo de proceso y su intensidad.

Agradecimientos

Parte de los resultados del presente trabajo se han obtenido durante la realización del proyecto "Cartografía de Unidades Geomorfoedáficas del Parque Natural Los Alcornocales", financiado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. La Consejería de Medio Ambiente proporcionó así mismo la fotografía aérea y las imágenes de satélite necesarias.

Begoña Garrido (Dpto. de Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla) y Lorena Martínez (Dpto. Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla) prestaron una inestimable ayuda en todo momento.

Jesús Lobillo, técnico de la Consejería de Medio Ambiente, prestó una ayuda imprescindible en el procesamiento de los datos en el SIG.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, J., CALVO, R., FERNÁNDEZ, E. & MACÍAS, F. (1988). "Geoquímica de la alteración y edafogénesis de rocas serpentizadas de la Sierra Bermeja (Málaga)". *Edafología*, 5:135-151.
- BELLINFANTE, N., GÓMEZ, I. A., RUIZ, A., & PANEQUE, G. (1997). "Suelos sobre areniscas silíceas del Parque Natural Los Alcornocales". *Edafología*, 3-2:309-316.
- BELLINFANTE, N., JORDÁN, A., MARTÍNEZ, L., PANEQUE, G. (1999). "Mapping of erosive status in Campo de Gibraltar (Spain)". *Extended Abstracts. 6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate*. Universidad de Barcelona. Barcelona (España). 994-996.
- BOUGONOVIAE, M., HUSNJAK, S., KUSAN, V., VIDAÈEK, Z., SRAKA, M., & MIHALIAE, A. (1999). "Assessment of soil erosion by water in the Butoniga catchment area in Croatia". *Extended Abstracts. 6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate*. Universidad de Barcelona. Barcelona (España). 997-999.
- CEBAC (1963). *Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz*. Instituto Nacional de Edafología y Biología Aplicada del CSIC. Sevilla (España).
- DE LA ROSA, D., & MOREIRA, J. M. (1987). *Evaluación ecológica de recursos naturales de Andalucía*. Agencia de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla (España).
- DEL VALLE, J., & DEL VAL, J. (1990). "Procesos de erosión y análisis de sus condicionantes en una región semi-árida: la cuenca de Cornialto (Bardenas, Navarra)". *Cuaternario y Geomorfología* 4:55-67.
- DÍAZ-FIERROS, F., & BENITO, E. (1991). "Aproximación a una cartografía de la erosionabilidad del suelo en Galicia (NW España)". *Cuaternario y Geomorfología* 5:45-55.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.) (1982-1997). ARC/INFO Version 7.1.2. Redlands (EEUU).
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.) (1992-1996). ArcView GIS Version 3.0. Redlands (EEUU).
- FAO-ISRIC-ISSS (1998). *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports 84. FAO. Roma (Italia).
- GIORDANO, A., & MARCHISIO, C. (1989). *Analysis and correlation of the existing soil erosion maps in the Mediterranean coastal Zones*. PAP. Málaga (España).
- IBARRA, P. (1993). *Naturaleza y hombre en el sur del Campo de Gibraltar: un análisis paisajístico integrado*. Agencia de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla (España).
- ICONA (1983-1988). Mapas de estados erosivos. ICONA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). Madrid (España).
- ITGE (1994). Mapa Geológico de España (E 1:50.000). Hoja 1071 (Jimena de la Frontera). SIGMA-ITGE. Consejería de Industria, Comercio y Turismo (Junta de Andalucía). Madrid (España).
- JORDÁN, A., RUIZ, A., GÓMEZ, I., & LIMÓN, F. (1998). "Principales tipos de suelos asociados al bosque de *Quercus* sp. y brezal en el Parque Natural Los Alcornocales (Cádiz, Málaga)". *Almoraima*, 19:231-240.
- KELLEY, H. W. (1990). "Keeping the land alive". *FAO Soils Bulletin* 50. Roma (Italia).
- LÓPEZ, F., & ROMERO, M. A. (1992-93). "Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea". *Cuadernos de Investigación Geográfica* 18-19:7-28.
- PANEQUE, G., BELLINFANTE, N., GÓMEZ, I., JORDÁN, A., LIMÓN, F., MARTÍNEZ, L., RUIZ, A., FERNÁNDEZ, J. A., GARCÍA-MUÑOZ, T., & TAGUAS-CASAÑO, M. J. (1998). *Cartografía de Unidades Geomorfoedáficas del Parque Natural Los Alcornocales (E 1:50.000)*. Memoria. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla (España).
- PAP/RAC (1997). *Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas*. PAP-8/PP/GL.1. Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP/UNEP), with the cooperation of FAO. Split (Croacia).
- PERLES, M. J. (1994-95). "Aproximación metodológica a la evaluación del estado de erosión hídrica en el ámbito de la montaña mediterránea. Aplicación a la cabecera del río Vélez (Sistemas Béticos)". *Cuadernos de Investigación Geográfica* 20-21:65-83.
- ZACHAR, D. (1982). "Soil erosion". *Developments in Soil Science* 10. Elsevier Scientific Publishing Company. Bratislava (Checoslovaquia).