

# ESTUDIO DEL RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO HOZGARGANTA

*Antonio Jordán López / Lorena Martínez-Zavala / Isidoro A. Gómez Parrales  
María Anaya Romero / Verónica Girón Rodríguez / Dolores Segura Venegas*  
Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el riesgo de erosión potencial del suelo en la cuenca alta del río Hozgarganta. Para ello se ha utilizado el método propuesto por PAP/RAC (1997) y modificado posteriormente por Jordán y Martínez-Zavala (Jordán, 2000; Martínez-Zavala, 2001; Martínez-Zavala et al., 2002). Mediante este sistema se ha dividido el área de estudio en unidades de territorio con diferente grado de susceptibilidad a la erosión hídrica (estado erosivo). Se ha evaluado el riesgo de erosión actual y el riesgo de erosión potencial, planteando tres escenarios posibles de cobertura de la vegetación. De esta forma, se puede concluir que el riesgo de pérdida de suelo en la cuenca del Hozgarganta es bajo. Sin embargo, el sistema se halla en un equilibrio inestable, ya que pequeños cambios en la cobertura de la vegetación pueden originar grandes cambios en la intensidad de los procesos erosivos.

**Palabras clave:** Parque Natural Los Alcornocales. Campo de Gibraltar. Riesgo de erosión de suelos. Erosión potencial. Estados erosivos.

## ABSTRACT

Potential soil erosion risk in the high basin of Hozgarganta river is analyzed in this paper. We have used the methodology proposed by PAP/RAC (1997), as modified Jordán and Martínez-Zavala (Jordán, 2000; Martínez-Zavala, 2001; Martínez-Zavala *et al.*, 2002). Using this method, the study area has been divided in terrain units with different level of susceptibility to rainfall-induced erosion risk (erosive status).

An assesment of actual and potential erosion risk is carried out, suposing three posible situations, acording to different percentages of canopy.

As a conclusion, the actual soil erosion risk is low for the Hozgarganta Basin. However, the equilibrium of the system is unstable, so that little changes in the vegetation cover may originate great changes in the intensity of the erosive processes

**Keywords:** Parque Natural Los Alcornocales. Campo de Gibraltar. Soil erosion risk. Potential erosion. Erosive status.



Figura 1. Área de estudio. Study area.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca alta del río Hozgarganta se localiza al norte del Campo de Gibraltar, en la provincia de Cádiz (España; figura 1). En la actualidad, el Hozgarganta es uno de los pocos ríos cuyo cauce no está regulado artificialmente. Su nacimiento está situado en la confluencia de los arroyos de La Saucedá y Pasadablanca, al norte de Jimena de la Frontera, en el límite entre las provincias de Cádiz y Málaga. Esta zona alberga una flora de gran singularidad y de alto valor ecológico. La cercanía del macizo de Grazalema y las sierras paleozoicas de Cortes de la Frontera, así como otros factores geográficos, climáticos y edáficos influyen sobre la distribución y variedad de las especies vegetales en este área (Ibarra, 1993; Ojeda *et al.*, 1995; Garrido & Hidalgo, 2000).

El valor de precipitación anual oscila en torno a los 1000mm anuales. Aunque la distribución de las precipitaciones es irregular, con valores máximos en torno a 150 mm en enero o diciembre y casi nulos en verano, el índice de concentración de las precipitaciones, calculado por Jordán (2000) toma valores en torno a 13-14%, un valor relativamente más bajo que los registrados en Algeciras, La Línea de la Concepción o la sierra de El Bujeo. El régimen térmico se caracteriza por su suavidad, con temperaturas medias en torno a 16°C.

Aunque la mayoría del sustrato es homogéneo (arenisca del Aljibe) los suelos presentan una gran variabilidad espacial dependiendo de condiciones microclimáticas, como ocurre en el resto de las sierras del Campo de Gibraltar. Así, en las laderas de las sierras pueden encontrarse suelos muy profundos y desarrollados como luvisoles y phaeozems, suelos superficiales y muy pedregosos en las laderas muy pronunciadas o en los roquedos de las cumbres, como leptosoles, o suelos poco desarrollados y cohesionados como resultado de la deposición de materiales coluviales al pie de las laderas, como los regosoles. Por otra parte, en los valles, el desarrollo del suelo está condicionado por los aportes fluviales. El material aportado suele ser de matriz muy arenosa o estar formado por cantos de diversa naturaleza. En ocasiones, estos suelos pueden ser profundos pero no presentan cohesión o desarrollo de agregados y del perfil.

En el presente estudio se ha considerado la porción de la cuenca que supera los 100 metros sobre el nivel del mar.

Los métodos cualitativos de estudio de la erosión realizan una clasificación del riesgo de pérdida de suelo según distintos factores del medio físico o biótico. Uno de los métodos más usados en la evaluación del riesgo de pérdida de suelo es la determinación de unidades de paisaje con un comportamiento homogéneo frente a la erosión, en función de parámetros como la erosividad climática, la erodibilidad del suelo, la vegetación o la topografía.

Una herramienta muy útil para la determinación del estado erosivo es la información obtenida mediante sensores remotos. Las imágenes de satélite y la fotografía aérea (en blanco y negro, color o infrarrojo-color) pueden proporcionar abundante información acerca de la vegetación, el suelo y la intensidad de los procesos erosivos.

Diversos trabajos han abordado el estudio de la erosión desde este punto de vista, destacando los trabajos realizados por Cendrero *et al.* (1986), Bordás & Sánchez (1988), ICONA (1983-1988), Moreira (1991), CORINE-CEC (1992), Jordán (2000) o Martínez-Zavala (2001).

## OBJETIVOS

Los principales objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- La realización de una cartografía del riesgo de erosión actual de la cuenca alta del río Hozgarganta.
- La determinación del riesgo de erosión potencial del sistema ante perturbaciones que impliquen una disminución de la cobertura de la vegetación.

## MÉTODOS

Los principales factores físicos que influyen sobre los procesos de erosión del suelo, en la región mediterránea son los siguientes:

- La variabilidad climática, caracterizada por una estación seca y una estación lluviosa.
- La presencia de suelos muy erosionables, debido al débil grado de desarrollo de su estructura, la poca profundidad de su perfil y su pobreza en materia orgánica.
- Un relieve muy acusado, con paisaje muy diversificados.

En un ámbito local, los daños inducidos por la pérdida del suelo incluyen un descenso de la productividad (forestal y agrícola). En un ámbito perilocal, los efectos son mucho más importantes y abarcan el riesgo de colmatación de arroyos y embalses, afectando a la calidad del agua y el drenaje de los ríos; todos estos efectos tienen una influencia negativa sobre el ciclo del agua, disminuyendo la capacidad de regulación de la red hídrica en una región donde la disponibilidad de agua limita el desarrollo socioeconómico. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la cartografía de estados erosivos del área de estudio se ha basado en el análisis de los siguientes factores: pendiente del terreno, naturaleza litológica, tipo de suelo, tipo de uso del territorio y la cobertura de la vegetación.

La integración espacial de estos factores permitió dividir la superficie del territorio en unidades de terreno diferentes según su susceptibilidad a la pérdida de suelo (estado erosivo). La metodología para realizar la cartografía de estados erosivos se elaboró a partir de las directrices recomendadas por el Plan de Acción del Mediterráneo, tras la convención de países de la costa mediterránea celebrada en Barcelona (PAP/RAC, 1997), siguiendo seis pasos principales.

En primer lugar se realiza el mapa de pendientes y el mapa de litofacias. La pendiente se analizó a partir de un modelo digital del terreno. Para ello se digitalizaron las curvas de nivel representadas en los mapas topográficos existentes a escala 1:10.000, así como determinados puntos de elevación conocida (vértices geodésicos, accidentes geográficos, etc.) Mediante un proceso de interpolación matemática se obtuvo un modelo digital de elevaciones (MDE) de 20x20m<sup>2</sup> de resolución. Para verificar la fiabilidad del proceso se llevó a cabo una comprobación visual de la red hidrográfica real y la calculada a partir del MDE. A partir del cálculo de la derivada parcial de la elevación de cada punto respecto de las coordenadas X e Y se obtuvo un modelo digital de pendientes (MDP).

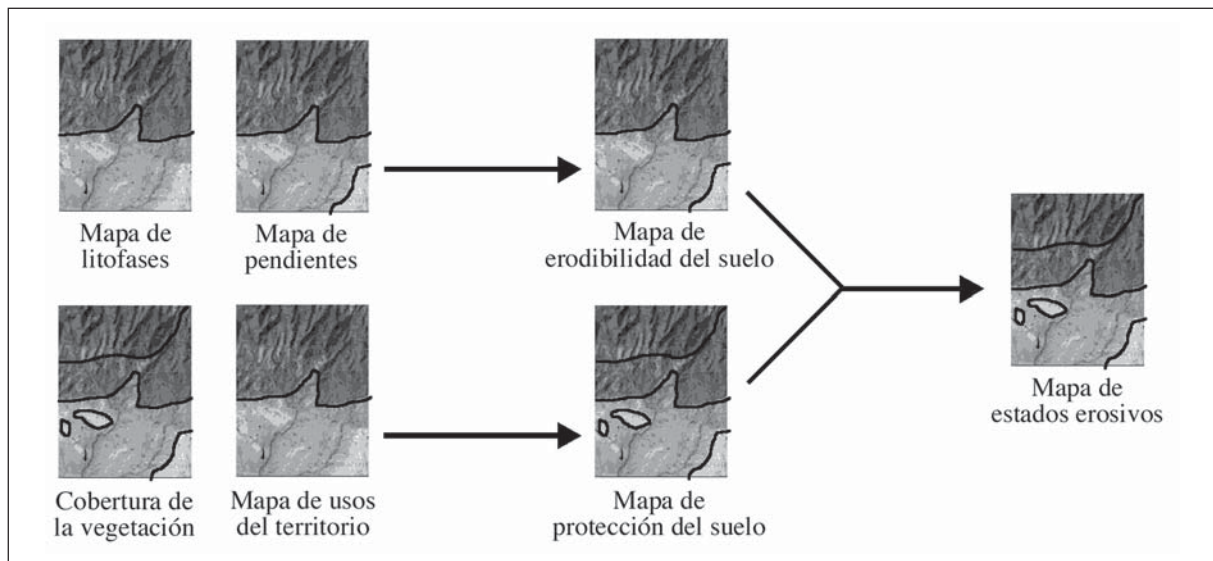


Figura 2. Esquema de la metodología general. *General methodology scheme.*

La metodología propuesta por PAP/RAC (1997) para la clasificación del sustrato en diferentes clases según su grado de riesgo de erosión está a su vez basada en la elaborada por ICONA (1983-1988). Esta clasificación obedece básicamente a aspectos litológicos. Sin embargo, la influencia litológica puede estar modificada por algunas propiedades del suelo (Díaz-Fierros & Benito, 1991). Por esta razón, se han tenido en cuenta las modificaciones introducidas por Martínez-Zavala (Martínez-Zavala, 2001; Martínez-Zavala et al., 2002), que contemplan algunas propiedades del suelo relacionadas con la erodibilidad del horizonte superficial, como el contenido en materia orgánica o la pedregosidad.

La superposición cartográfica de estos dos mapas permite obtener el mapa de erodibilidad del sustrato.

Paralelamente se obtiene el mapa de uso del suelo y el mapa de cobertura de la vegetación. La interpretación de pares estereoscópicos de fotografías aéreas en blanco y negro (E 1:20.000) e imágenes de satélite en falso color (Landsat TM), así como la consulta de información cartográfica publicada, permitió identificar y cartografiar los distintos tipos de cubierta vegetal en el área de estudio y clasificar las masas homogéneas según su grado de cobertura. Igual que en el caso anterior, la superposición de ambos mapas permite obtener el mapa de protección del suelo. Finalmente, a partir de los mapas de erodibilidad y protección del suelo puede obtenerse el mapa de estados erosivos. Este proceso se muestra esquematizado en la figura 2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El MDP obtenido fue procesado, filtrado y reclasificado en 50 rangos de pendiente: 0-3%, 3-16%, 16-21%, 21-31% y mayor de 31%. El mapa resultante se muestra en la figura 3. Como puede observarse, la mayoría de la cuenca se incluye dentro del rango 3-21%. Pendientes superiores al 20%, e incluso al 30%, se alcanzan en zonas como las crestas y laderas de la garganta de la Balsa o en la cuenca del arroyo de Los Alisos.

La caracterización del sustrato según su susceptibilidad a la erosión se llevó a cabo utilizando como base la cartografía geológica publicada y el mapa de unidades geomorfoedáficas del Parque Natural Los Alcornocales (Paneque *et al.*, 1997).

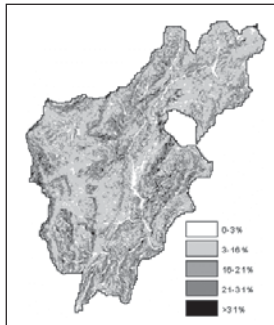


Figura 3. Mapa de pendiente de las laderas. *Slope map.*

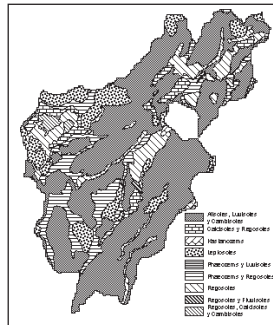


Figura 4. Mapa de suelos. *Soil map.*

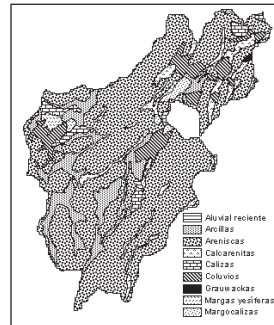


Figura 5. Mapa litológico. *Lithological map.*

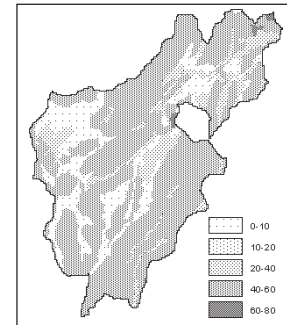


Figura 6. Mapa de pedregosidad. *Stone cover map.*

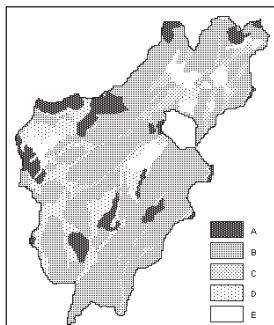


Figura 7. Mapa de litofacies. *Lithofacies map.*

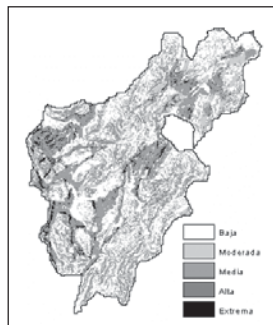


Figura 8. Mapa de erodibilidad del sustrato. *Substrate erodibility map.*

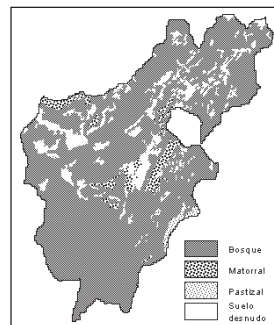


Figura 9. Mapa de usos del terreno. *Land use map.*

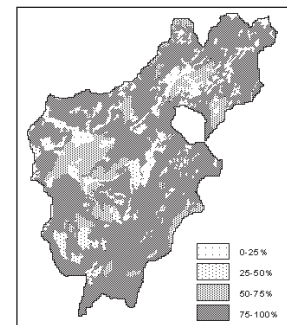


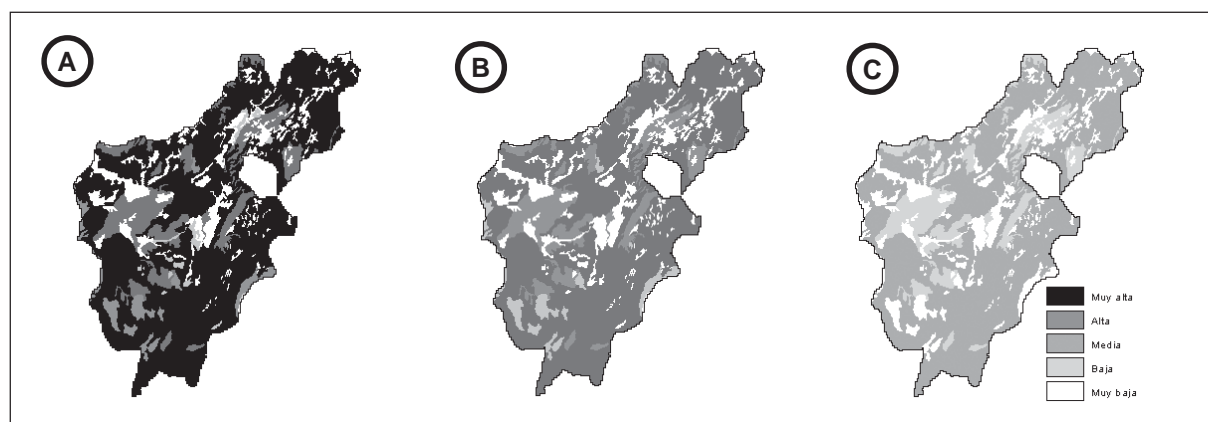
Figura 10. Mapa de cobertura de la vegetación. *Canopy map.*

Para ello se tuvo en cuenta el tipo de suelo (figura 4), la litología del sustrato (figura 5) y la pedregosidad superficial (figura 6). A partir de estos factores se determinaron cinco clases de litofacies (figura 7) según los criterios establecidos por PAP/RAC (1997), como se muestra en la tabla 1.

El mapa de erodibilidad (figura 8) se obtuvo mediante la intersección espacial de los mapas de clases de pendiente y litofacies, asignando un código a cada unidad de terreno según el criterio establecido en la tabla 2.

La figura 9 muestra el mapa de tipos de vegetación del área de estudio; el rango de cobertura de la vegetación se muestra en la figura 10. La protección ejercida por una cubierta forestal es siempre más efectiva que una cubierta herbácea, debido al mayor grado de intercepción de las hojas y ramas, así como al efecto de los troncos. A pesar de esto, para que la protección sea adecuada debe estar cubierto al menos el 70% del suelo, aunque la protección puede ser aceptable con sólo un 40% de cobertura (Elwell & Stocking, 1976). A partir de estos mapas se obtuvo la cartografía de protección del suelo (figura 11). Cada unidad de territorio resultante recibió un código según el criterio que muestra la tabla 3. El mapa de protección del suelo actual se muestra en la figura 11-A.

Finalmente, se obtuvo el mapa de estados erosivos de la cuenca alta del Hozgarganta. La determinación del riesgo de erosión actual se realizó a partir de los criterios establecidos por PAP/RAC (1997), mostrados en la tabla 4.



**Figura 11.** Protección del suelo. **A:** protección actual del suelo; **B:** protección del suelo suponiendo un rango menos de cobertura de vegetación; **C:** protección del suelo suponiendo dos rangos menos de cobertura de vegetación. *Soil protection. A: actual soil protection; B: soil protection suposing one class less for canopy; C: soil protection suposing two classes less for canopy.*

El riesgo de erosión potencial se analizó considerando dos escenarios posibles:

- Una disminución ligera en la cobertura vegetal (con una diferencia de un solo rango respecto al actual. La disminución de cobertura vegetal sería menor al 25%; figura 11-B).
- Una disminución grande en la cobertura vegetal causada por una perturbación importante del ecosistema (con una diferencia de dos rangos respecto al actual. La disminución de cobertura vegetal sería superior al 25%; figura 11-C).

De esta manera se obtuvieron los mapas de riesgo de erosión actual y potencial del suelo, mostrados en la figura 12. En la situación A la protección del suelo por la vegetación frente a la acción erosiva de la lluvia es muy alta en una proporción elevada del territorio, principalmente en las laderas montañosas, y menor en las zonas bajas donde el bosque es sustituido progresivamente por matorral más o menos disperso, vegetación herbácea o suelo desnudo. El bosque constituye una barrera de las laderas más pronunciadas frente a la lluvia. Sin embargo, son los sustratos más erosionables los que se hallan desprotegidos (depósitos aluviales y de piedemonte). En este caso, sin embargo, la baja pendiente no favorece el arrastre de partículas por la escorrentía superficial (figura 12-A).

Sin embargo, la situación es muy distinta en los escenarios B y C. Una pequeña disminución de la cobertura vegetal (figura 12-B) en las laderas más pronunciadas, donde la inclinación del terreno es superior al 20%, eleva considerablemente el riesgo de erosión. Si la alteración de la vegetación es muy grande (figura 12-C), una gran parte de la cuenca cuyo riesgo de erosión es muy bajo en la actualidad puede presentar un riesgo moderado o alto de pérdida de suelo.

A la vista de estos resultados se puede concluir lo siguiente:

En la actualidad, el riesgo de erosión de la cuenca alta del Hozgarganta es muy bajo en la mayoría del territorio. Solamente en determinados enclaves como las cumbres de las sierras se eleva el riesgo de pérdida de suelo. En las laderas pronunciadas, la pendiente del terreno favorecería la aparición de procesos erosivos, pero la protección realizada por la vegetación es muy elevada. En el fondo de los valles, donde la cobertura es más baja, la baja pendiente no permite el arrastre de partículas por la escorrentía.

Existe un elevado riesgo de erosión potencial en la cuenca del Hozgarganta. Una disminución de la cobertura vegetal en la cuenca implica un cambio importante, ya que las laderas de las sierras, al quedar desprotegidas, sufrirían procesos de escorrentía muy fuertes. La existencia de procesos erosivos como cárcavas o cauces irregulares estabilizados en la

LITOFACIES	DESCRIPCIÓN
A	Roca compacta no alterada, suelos o conglomerados fuertemente cementados, afloramientos de arenisca, suelos muy poco profundos o muy pedregosos (más del 60% de pedregosidad superficial).
B	Suelos o rocas cohesivas moderadamente alteradas.
C	Suelos o rocas sedimentarias moderadamente alteradas.
D	Suelos o rocas poco resistentes o profundamente alteradas.
E	Suelos o sedimentos poco cohesivos o materiales detríticos (piedemontes y derrubios de ladera, sedimentos fluviales, etc.).

**Tabla 1.** Clasificación de litofacies, a partir de PAP/RAC (1997) y Martínez-Zavala (2001).  
*Lithofacies classes, modified from PAP/RAC (1997) and Martínez-Zavala (2001).*

CLASE DE PENDIENTE	CLASE DE LITOFACIES			
	A	B	C	D
0-3%	1	1	1	1
3-16%	1	1	2	3
16-21%	2	2	3	4
21-31%	3	3	4	5
>31%	4	4	5	5

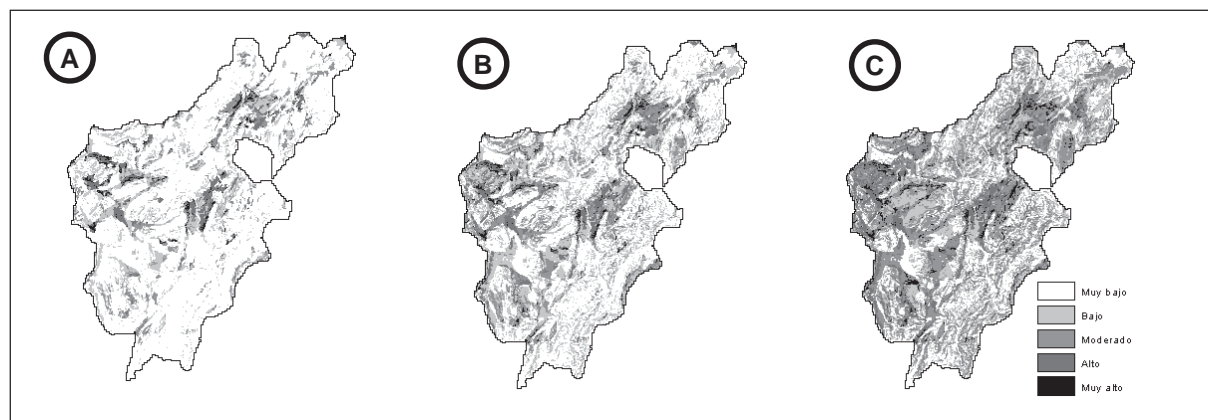
**Tabla 2.** Clases de erodibilidad del sustrato (modificado de PAP/RAC, 1997).  
*Erodibility classification of substrate (modified from PAP/RAC, 1997).*

PROTECCIÓN DEL SUELO FORMACIONES VEGETALES	COBERTURA DE LA VEGETACIÓN			
	< 25%	25-50%	50-75%	> 75%
Alcornocal	4	3	2	1
Alcornocal/quejigar	4	3	2	1
Matorral	5	4	3	2
Pastizal	5	5	4	4
Pinar	4	3	2	1
Suelo desnudo	5	-	-	-

**Tabla 3.** Clases de protección del suelo (modificado de PAP/RAC, 1997).  
*Soil protection classes (modified from PAP/RAC, 1997).*

PROTECCIÓN DEL SUELO	ERODIBILIDAD				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	2	2
2	1	1	2	3	4
3	1	2	3	4	4
4	2	3	3	5	5
5	2	3	4	5	5

**Tabla 4.** Determinación de estados erosivos: muy bajo, 1; bajo, 2; moderado, 3; alto, 4; muy alto, 5 (PAP/RAC, 1997).  
*Determination of erosive status: very low, 1; low, 2; moderate, 3; high, 4; very high, 5 (PAP/RAC, 1997).*



**Figura 12.** Estados erosivos. **A:** riesgo de erosión actual; **B y C:** riesgo de erosión potencial para los supuestos de protección de suelo B y C. *Erosive status. A: actual erosion risk; B and C: potential erosion risk for B and C soil protection scenarios.*

actualidad (Jordán, 2000) favorecería una intensa erosión. Por otro lado, la reactivación de procesos erosivos en las laderas conduciría al incremento del volumen de sedimentos depositados en el valle, lo que llevaría a su vez a cambios en el régimen hídrico del cauce del Hozgarganta.

Desde el punto de vista de la pérdida de suelo, la situación actual constituye un equilibrio inestable, ya que factores como el relieve, el tipo de suelo o la litología favorecen los procesos erosivos, mientras que sólo la protección realizada por la vegetación leñosa retiene el suelo.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BORDÁS, V. & J. Sánchez. "Estudio comparativo sobre diferentes métodos de valoración de la erosión hídrica en unas áreas piloto representativas de la provincia de Valencia (España)", *Anales de Edafología y Agrobiología*, XLVI/11-12 (1988), pp. 1277-1290.
- CENDRERO, A. & varios. *Mapa Geocientífico de la provincia de Valencia*, Valencia, Diputación Provincial de Valencia – Universitat de Valencia – Universidad de Cantabria, 1986.
- CORINE-CEC. *CORINE soil erosion risk and important land resources. An assesment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk*, Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities – EUR 13233, 1992.
- DÍAZ FIERROS, F. & E. Benito. "Aproximación a una cartografía de erodibilidad del suelo en Galicia (NW España)", *Cuaternario y Geomorfología*, 5 (1991), pp. 45-56.
- ELWELL, H.A. & M. A. Stocking. "Vegetal cover to estimating soil erosion in Rhodesia", *Geoderma*, 15 (1976), pp.61-70.
- GARRIDO, B. & R. Hidalgo. "Conservación de la biodiversidad vegetal en la cuenca fluvial del Río Hozgarganta: vegetación y flora", *Almoraima*, 23 (2000), pp. 281-292.
- IBARRA, P. *Naturaleza y hombre en el sur del Campo de Gibraltar: un análisis paisajístico integrado*, Sevilla, Agencia de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 1993.
- ICONA. *Mapas de estados erosivos*, Madrid, ICONA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1983-1988.
- JORDÁN, A. *El medio físico del campo de Gibraltar: unidades geomorfoedáficas y riesgo de erosión*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 2000.
- MARTÍNEZ-ZAVALA, L., N. Bellinfante, A. Jordán & G. Paneque. "Evaluation of the erosion risk in Andevalo (SW Spain): an approach to semidetailed erosion mapping"; en: J. L. Rubio, R. P. C. Morgan, S. Asins, & V. Andreu (eds.): *Man and Soil at the Third Millennium*, Logroño, GEOFORMA Ediciones, 2002.
- MARTÍNEZ-ZAVALA, L. *Análisis territorial de la comarca del Andevalo occidental: una aproximación desde el medio físico*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 2001.
- MOREIRA, J. M. *Capacidad de uso y erosión de suelos. Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía*, Sevilla, Agencia de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 1991.
- OJEDA, F., J. Arroyo & T. Marañón. "Biodiversity components and conservation of Mediterranean heathlands in Southern Spain", *Biological Conservation*, 72 (1995), pp. 61-72.
- PANEQUE, G. & varios. *Cartografía de unidades geomorfoedáficas del Parque Natural Los Alcornocales y su entorno*, Sevilla, Universidad de Sevilla. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 1997.
- PAP/RAC. *Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas*, Split (Croacia), Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP-UNEP) – FAO, 1997.