

MONITORIZACIÓN DE PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS EN EL ENTORNO DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES

Jesús Lera Reina / Lorena Martínez Zavala

Antonio Jordán López / Nicolás Bellinfante Crocci

Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla

Abstract

The evolution of a system of gullies located near Tarifa, in the southern limit of Los Alcornocales Natural Park, has been studied in this work for the period 1956-1995. The morphology and growing rate of each gully were analyzed, and the relationships between them and the climatic and physical environment were studied. The gullies were identified using teledetection techniques, by interpretation of georeferenced aerial photographs, processed using the software ARC/INFO.

Erosion by gullies in the studied area looks relatively stabilized, although stable and active phases have been observed in different times of the studied period. A critical point in the growth of the studied gullies has been detected, related to the watershed area for the headcut.

Keywords: Soil erosion, soil degradation, gully.

Resumen

En este trabajo se estudió de la evolución de un sistema de cárcavas existente en las cercanías de Tarifa, en el límite sur del Parque Natural Los Alcornocales durante el período 1956-1995. Se analizó su morfología y su tasa de crecimiento y se estudió su relación con las características del medio físico y la agresividad climática. Las cárcavas fueron identificadas mediante técnicas de teledetección, a partir de la interpretación de fotogramas aéreos georreferenciados y posteriormente procesados utilizando el programa ARC/INFO.

Los procesos de erosión en cárcavas en el área estudiada parecen hallarse relativamente estabilizados en la actualidad, aunque durante el período de estudio se han detectado sucesivas fases de estabilización y actividad. Además, se ha detectado la existencia de un punto crítico en el crecimiento de las cárcavas analizadas, relacionado con el área de contribución a la cabecera.

Palabras clave: Erosión de suelos, degradación de suelos, cárcava.

1. Introducción

La desertización constituye un proceso complejo que puede ser originado por múltiples causas, y cuyos efectos son una progresiva pérdida de productividad de la tierra, así como una creciente limitación hídrica y nutricional de las plantas (López-Bermúdez, 2001). Según este autor, la desertización expresa el resultado de la combinación de condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas, así como de las formas humanas de utilización de los recursos naturales (López-Bermúdez, 1996). La definición más ampliamente aceptada del término desertización es la enunciada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED, 1992) y la Convención de Lucha Contra la Desertización (CCD, 1994): "La desertización es un proceso complejo que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales, en el contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado de variaciones climáticas y actuaciones humanas adversas".

La erosión hídrica del suelo es el más común de los procesos de degradación del suelo, y a menudo es considerada como el principal síntoma de los procesos de desertificación (Castillo, 2000; Giordano, 2000; Colomer y Sánchez, 2001). Aunque no la única, parece establecido que la agricultura constituye una de las causas más importantes de la deforestación del paisaje mediterráneo (Dupre, 1990; Colomer y Sánchez, 2001). Sin embargo, el abandono de las explotaciones no conduce necesariamente hacia la restauración del paisaje original, como ha sido puesto de relieve recientemente (García Ruiz *et al.*, 1996).

La erosión en cárcavas es particularmente grave en áreas semiáridas o subhúmedas, donde existe una fuerte influencia antrópica sobre el suelo y la vegetación. Aunque en España, la mayoría de los estudios sobre este tipo de procesos se han llevado a cabo en áreas áridas y semiáridas del SE de España, tradicionalmente se ha prestado poca atención a otras zonas en grave riesgo de erosión.

Casi siempre, las cárcavas están asociadas a una erosión acelerada y, por tanto, a paisajes inestables (Morgan, 1997). La causa principal de su formación es el exceso de agua de escorrentía, causado por un aumento de la precipitación o por una reducción de la cubierta vegetal. Entre los factores que controlan la actividad de la cárcava están el uso del suelo, la litología y la topografía (Morgan, 1997; Oostwoud *et al.*, 2000).

2. Área de estudio

El área de estudio se localiza aproximadamente a 1 km en sentido NE de la ciudad de Tarifa (Figura 1). El sistema de cárcavas está formado por un conjunto de típicas cárcavas de ladera, desarrolladas sobre materiales margoso-areniscosos, de textura arcillosa y fuertemente erosionables, sobre laderas convexas, de pendiente moderadamente inclinada, que vierten al Arroyo del Retiro. Los suelos son del tipo de los Cambisoles vérticos (Jordán, 2000). Presentan un perfil desarrollado, de tipo A-Bwck-Cck, con un horizonte ócrico en superficie y situándose el horizonte C a más de un metro de profundidad. El material original es rico en carbonato cálcico, que se acumula en forma de nódulos de manera frecuente en los horizontes B y C. Como rasgo significativo, destaca la formación de grietas de retracción en la estación seca de más de medio metro de profundidad, lo que favorece una importante mezcla del horizonte superior.

El clima es de tipo termomediterráneo inferior (Rivas-Martínez, 1987), caracterizado por inviernos frescos y húmedos y veranos secos y templados, suavizados por influencia de la costa. La temperatura media anual es de 19°C, mientras que la precipitación se sitúa en torno a los 670 mm anuales (Figura 2). La precipitación mensual se distribuye de manera irregular, y muestra un máximo en el período correspondiente a los meses de noviembre a enero, con precipitaciones mensuales

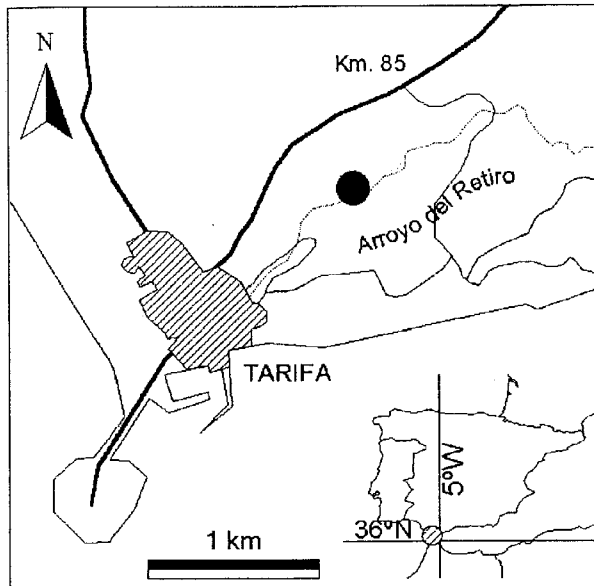


Figura 1. Localización del área de estudio.

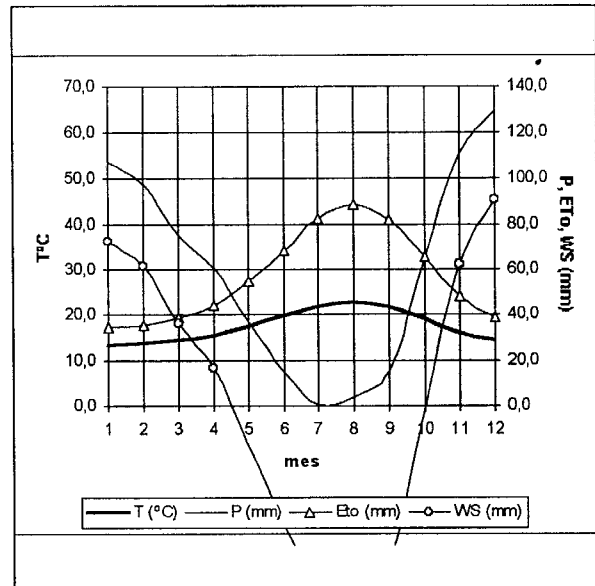


Figura 2. Diagrama ombroclimático de la estación termopluviométrica de Tarifa (cód. 6001). T: temperatura media mensual en grados centígrados; P: precipitación media mensual en milímetros; ETo: evapotranspiración potencial en milímetros; WS: balance hídrico en milímetros (P-ETo).

comprendidas entre 90 y 112 mm, así como un período de sequía en los meses de julio y agosto, en los que la precipitación no supera los 5 mm mensuales. Jordán y Bellinfante (2000) estudiaron la agresividad pluvial en el Campo de Gibraltar, determinando una erosividad de la lluvia en el área de estudio de baja a moderada, con máximos en los meses de diciembre a febrero. Jordán (2000) realizó el mapa de estados erosivos del Campo de Gibraltar. A pesar de la baja erosividad pluvial, el área de estudio posee un estado erosivo muy alto, debido fundamentalmente a factores como la elevada erodibilidad del sustrato litológico, la pendiente del terreno y la escasa protección que ofrece la cubierta vegetal (Jordán, 2000; Jordán *et al.*, 2000).

En la actualidad, el terreno permanece sin cultivar o se dedica a pastos.

3. Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

1. Determinar el área y longitud de las cárcavas existentes en el área de estudio.
2. Analizar su evolución en el tiempo y su grado de estabilidad actual.

4. Metodología

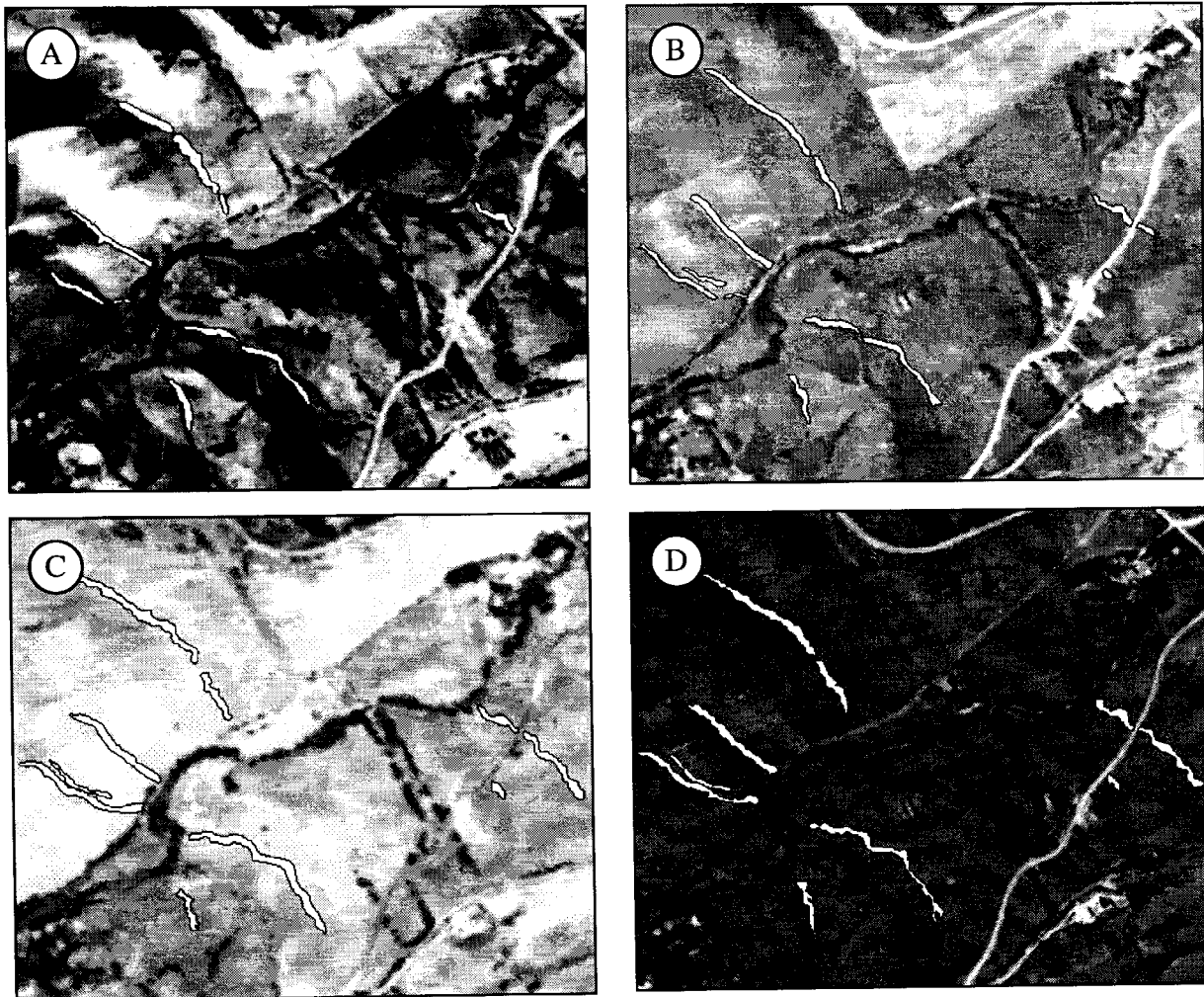


Figura 3. Evolución del sistema de cárcavas en el período 1956-1995. A. 1956; B. 1977; C. 1992; D. 1995.

El método de trabajo se ha basado en el análisis y la interpretación de una secuencia de fotografías aéreas en blanco y negro, correspondientes al período 1956-1995. Las fotografías aéreas fueron ampliadas, digitalizadas, georreferenciadas, corregidas geométricamente e incorporadas a un sistema de información geográfica utilizando el software ARC/INFO (ESRI, 1982-1997) y ARCVIEW GIS (ESRI, 1992-1996). Esto permitió la identificación y delimitación de un conjunto de cárcavas en distintos momentos de su evolución en el tiempo. Los límites de las cárcavas fueron vectorizados a partir de las ampliaciones fotográficas; de este modo, pudo definirse la forma, superficie, perímetro y longitud de cada cárcava en distintos momentos de su desarrollo a una escala aproximada de 1:1.000.

La observación de pares estereoscópicos de fotogramas aéreos contiguos en cada serie fotogramétrica permitió la delimitación de la cuenca de contribución de cada una de las cárcavas, identificando los cambios de pendiente del terreno con una gran precisión. La observación en 3D permitió también identificar el punto más elevado del área de contribución a cada una de las cárcavas, de modo que se pudo hallar la distancia desde este punto a la de cabecera (distancia al punto más elevado, DPME).

5. Resultados y Discusión

La Figura 3 muestra la distribución espacio-temporal del sistema de cárcavas mediante una secuencia cronológica de fotogramas aéreos comprendidos entre 1956-1995. El área de contribución de las cárcavas, delimitado mediante fotointerpretación, se muestra en la Figura 4. La Figura 5 muestra un mapa del área de estudio con la situación del sistema de cárcavas para 1995. Estas cárcavas se muestran asociadas a suelos erosionados que han perdido completamente el horizonte superficial. En la actualidad el sistema se compone de un total de 8 cárcavas, mientras que en 1956 sólo existían 6 de ellas. Dos de estas cárcavas presentan un desarrollo influenciado por la presencia de vías de comunicación. En áreas con pendientes moderadamente inclinadas (>20%), pueden originarse movimientos en masa de material favorecidos por la existencia de taludes artificiales de carreteras (Zinck, 1981; Morgan, 1997).

5.1. Variación temporal del tamaño

La Figura 6 muestra la evolución de la superficie de cada cárcava durante el período de estudio (1995). La Figura 7 (izda.) muestra la evolución en el tiempo de la longitud del cauce de cada cárcava. Las cárcavas 2, 3 y 7 se encuentran en un estadio de madurez en su desarrollo, ya que el incremento de su tamaño es bajo en todo el período de estudio, presentando un comportamiento asintótico a partir de 1977. Las cárcavas 4 y 6, por el contrario, se encuentran en una fase joven de su desarrollo, con tasas de incremento positivas y constantes durante todo el período estudiado. Las cárcavas 1 y 8 muestran una aparente disminución de su tamaño hacia la mitad del período de estudio, pero sin disminuir su crecimiento longitudinal. Durante los intervalos 1971-1974 y 1976-1979, los datos de la estación climática de Tarifa muestran períodos fuertes de sequía, durante los que la precipitación anual disminuyó por debajo de los 400 mm. Durante estos períodos donde la erosividad pluvial es poco importante, la pendiente del cauce se reduce promoviendo una fase de consolidación, las paredes laterales y la cabecera se aplanan y la vegetación reaparece. Pueden aparecer entonces cárcavas que presenten una secuencia alternante de

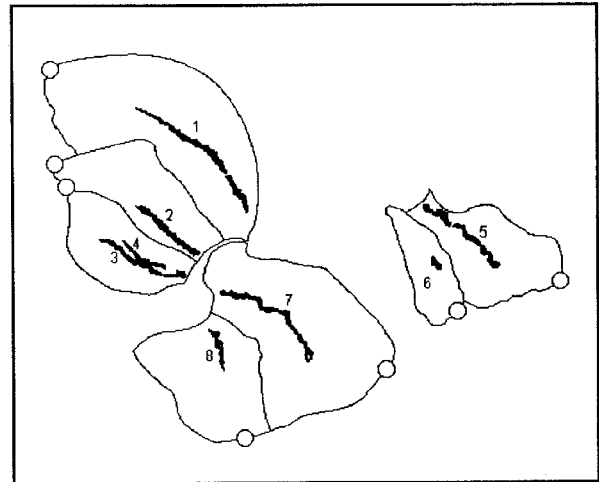


Figura 4. Área de contribución de cada una de las cárcavas del sistema; con un círculo se representa el punto más elevado de cada cuenca.

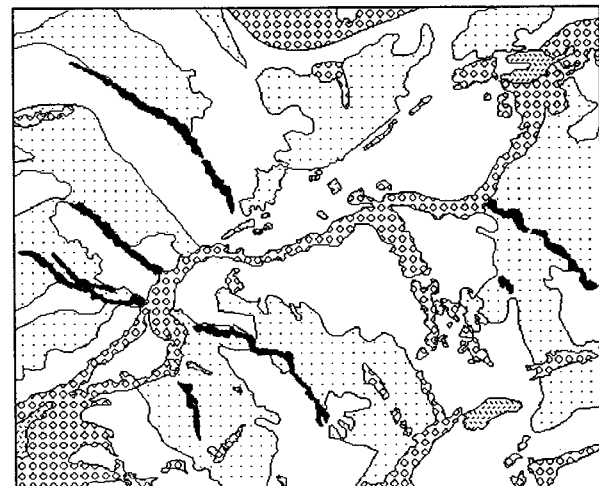
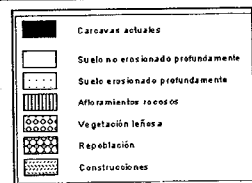


Figura 5. Croquis de la zona de muestreo.



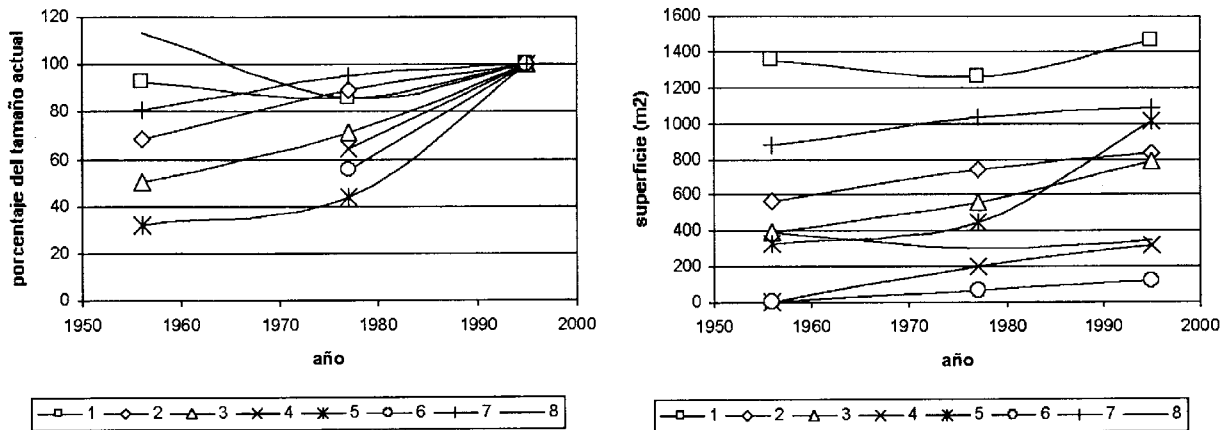


Figura 6. Evolución del tamaño de cada cárcava como proporción del tamaño actual (izda.) y de la superficie (dcha.) en el tiempo.

secciones estables e inestables (Morgan, 1997). Diversos autores han relacionado los procesos de estabilización con factores como el clima, las labores agrícolas, las medidas de conservación y drenaje y los cambios en la cobertura vegetal del suelo (Oostwoud et al., 1999; Oostwoud et al., 2000; Burkard y Kostaschuk, 1997).

5.2. Morfología

La relación superficie/perímetro (S/P) de una cárcava permite obtener datos acerca de su morfología. En los períodos de mayor actividad de la cárcava se produce un aumento de su longitud, presentando una disminución de S/P; sin embargo, valores de S/P más altos muestran un aumento en la anchura relativa de las cárcavas y una disminución de la actividad erosiva de la misma.

La Figura 7 (dcha.) muestra la evolución de S/P de cada cárcava en el tiempo. En general, se observa una tendencia al incremento de S/P, lo que puede explicarse como una estabilización del avance de la cabecera y un aplanamiento de las

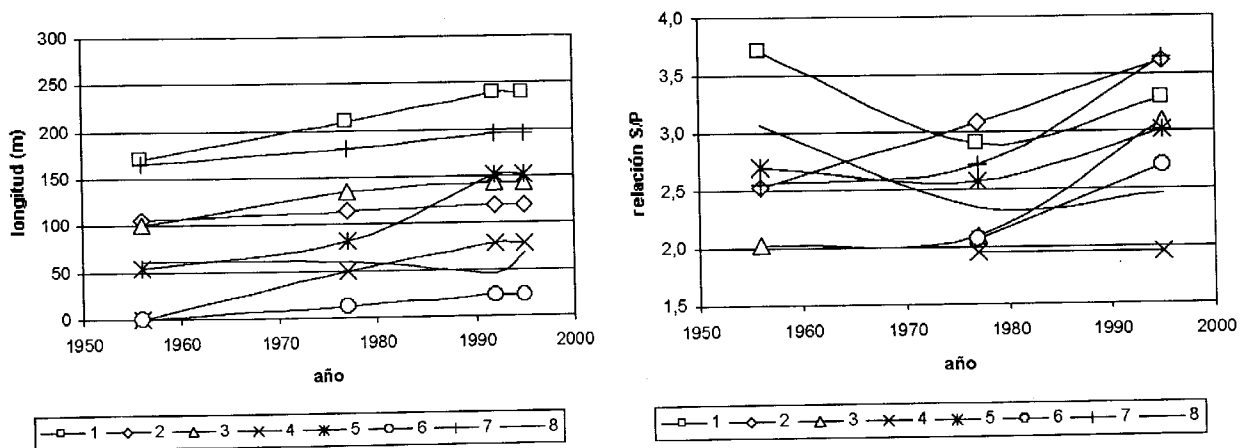


Figura 7. Evolución de la longitud del cauce (izda.) y de la relación superficie/perímetro (dcha.) de cada cárcava en el tiempo.

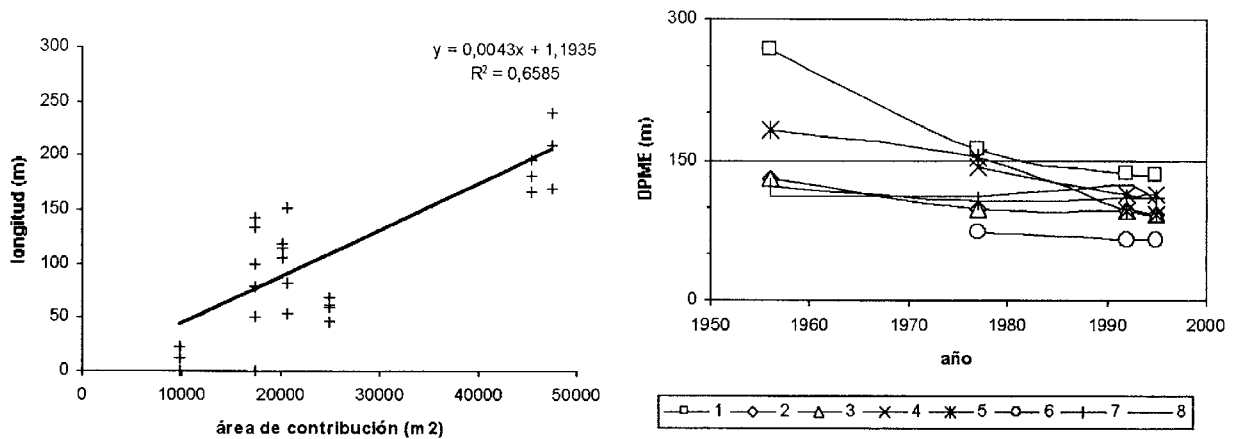


Figura 8. Relación entre el tamaño de la cárcava y el área de la cuenca de contribución (izda.) y posición de la cabecera de cada cárcava en el tiempo.

paredes laterales. El comportamiento irregular de las cárcavas 1 y 8 parece indicar la alternancia de fases de madurez y rejuvenecimiento de la erosión lineal.

5.3. Evolución del sistema de cárcavas

Se ha encontrado una buena relación ($R=0.81$) entre el área de la cuenca de contribución a la cárcava y su crecimiento en longitud (Figura 8, izda.). Este factor es citado a menudo por distintos autores como uno de los principales a la hora de explicar el comportamiento de las cárcavas. Cuando aumenta el área de contribución, aumenta también la cantidad de flujo acumulado en el cauce de la cárcava, así como su velocidad y potencial erosivo. Normalmente, esto produce el avance de la cabecera pendiente arriba.

Sin embargo, como se observa en la Figura 8 (dcha.), parece existir un punto crítico a partir del cual el crecimiento tiende a estabilizarse. Bajo las condiciones fisiográficas y litológicas del área de estudio, este valor crítico parece ser una distancia de 150 m entre la cabecera de la cárcava y el punto más elevado. Las cárcavas 2, 3, 6, 7 y 8 muestran una estabilización del desplazamiento de la cabecera, siendo su DPME menor de 150. Sin embargo, en los casos 1, 4 y 5, en los que la DPME al inicio del período estudiado era superior a este valor crítico, la cabecera realiza un desplazamiento constante pendiente arriba.

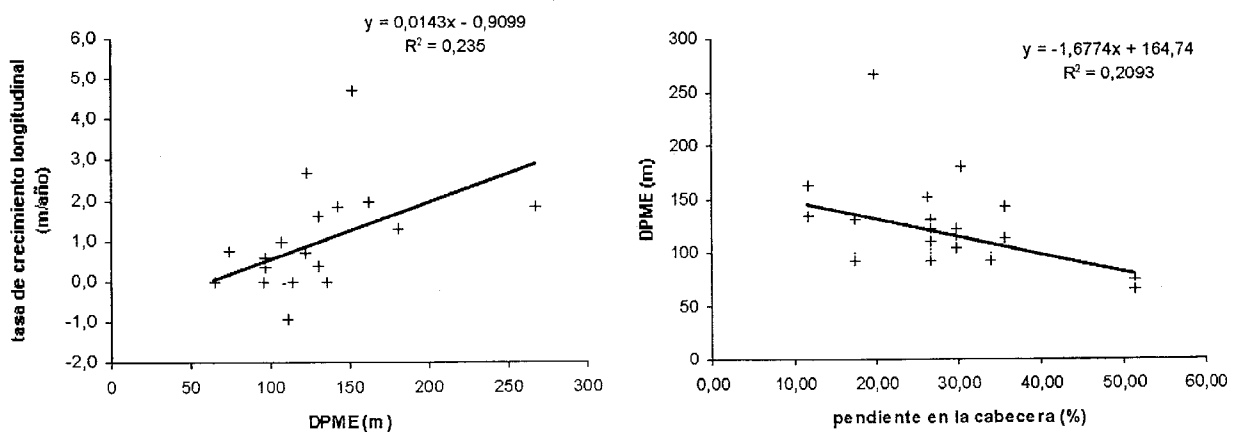


Figura 9. Tasa de crecimiento longitudinal frente a la DPME (izda.) y DPME frente a la pendiente en la zona de cabecera (dcha.).

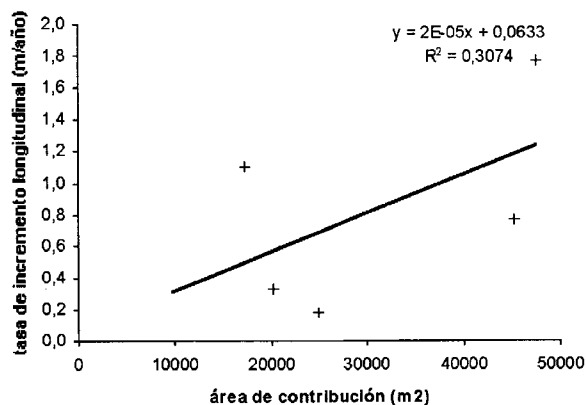


Figura 10. Tasa de incremento longitudinal del tamaño de la cárcava frente al área de contribución (se han tenido en cuenta sólo las cárcavas ya existentes en 1956).

Incluso en estos casos, el avance se detiene al alcanzar el nivel umbral. De hecho, la tasa de crecimiento longitudinal mostró una relación positiva, aunque débil ($R=0.45$), con la DPME (Figura 9, izda.). Cuando la DPME disminuye por debajo del valor umbral se observa el efecto de dos factores distintos. Por un lado, la cantidad de flujo que recoge la cabecera y su energía cinética son mucho menores que en las zonas más bajas. Por otro lado, la forma del terreno pasa de ser convexa a cóncava, lo que supone una disminución de la pendiente en los puntos más elevados de las laderas (como se observa en la Figura 9, dcha.). En ambos casos, el resultado es una disminución de la fuerza cortante del flujo de agua. Efectivamente, la relación entre el área de contribución y la tasa de crecimiento longitudinal (h Figura 10) muestra una relación positiva. La mayoría de estudios previos muestran relaciones significativas en este mismo sentido. De

este modo, las cárcavas con un área de contribución pequeña muestran un menor crecimiento que aquellas con cuencas mayores, y alcanzan antes su grado de madurez, como en el caso de la cárcava número 6.

6. Conclusiones

El sistema de cárcavas estudiado mostró un funcionamiento activo durante el período de estudio (1956-1995), alcanzando un cierto grado de madurez y estabilización en la actualidad.

Algunas de las cárcavas han atravesado sucesivos ciclos de estabilización y rejuvenecimiento, debido a períodos alternantes de sequía y elevada pluviosidad, así como a la disminución del área de contribución de la cabecera con el tiempo y a las características fisiotopográficas de su situación.

La relación significativa entre el área de la cuenca y la longitud de la cárcava parece sugerir que las cárcavas con mayores cuencas poseen una tendencia a seguir creciendo, mientras que las cárcavas con cuencas pequeñas alcanzan su madurez en un período de tiempo relativamente más corto.

Aunque en este estudio, la relación entre la tasa de crecimiento de la cárcava y las dimensiones de la zona de aporte a la cabecera no fue demasiado significativa, parece existir un punto crítico para el crecimiento de la cárcava. Este valor umbral sí puede estar relacionado con el área de recepción de aguas superficiales de la cabecera de la cárcava. En el área de estudio, homogénea en cuanto a pendiente (en torno al 20%) y a las características del suelo, este límite parece situarse a unos 150 m del punto más elevado del área de contribución.

7. Bibliografía

- BURKARD, M. B. y R. A. Kostaschuk: "Patterns and controls of gully growth along the shoreline of lake Huron", *Earth surface processes and landforms*, vol. 22 (1997), pp. 901-911.
- CASTILLO, V. M. (2000). "Problems and practices of erosion control management in Spain". En: PAP/RAC (ed.) *National reports on problems and practices of erosion control management in the Mediterranean region*. Split (Croacia), UNEP-MAP-PAP (2000), pp. 81-106.
- CCD: "Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave y/o desertificación, en particular África". Suiza. Geneva Executive Center, 1994.

- COLOMER, J. C., y J. Sánchez: "Agricultura y procesos de degradación del suelo". En: F. Martín de Santaolalla (coord). *Agricultura y desertificación*. Madrid, Ed. Mundi-Prensa (2001), pp. 109-132.
- DUPRE, M.: "Historical antecedents of desertification: climatic or anthropological factors?". En: J. L. Rubio y R. J. Rickson (eds.). *Strategies to combat desertification in the Mediterranean Europe*. Luxembourg, Commission of the European Communities. Directorate General Agriculture. EUR 11175 en/es (1990) pp. 2-39.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.) Arc View GIS. Versión 3.0. Redlands, ESRI, 1992-1996.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.) ARC/INFO. Versión 7.1.2. Redlands, ESRI, 1982-1997.
- GARCÍA-RUIZ, J. M., P. Ruiz-Flaño y T. Lasanta: "Soil erosion after farmland abandonment in submediterranean mountains: a general outlook". En: J. L. Rubio y A. Calvo (eds.). *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. Logroño, Geoforma ediciones (1996) pp. 165-183.
- GIORDANO, A.: "Problems and practices of erosion control management in six Mediterranean countries (PAP/RAC, UNEP Project)". En: J. L. Rubio, S. Asins, V. Andreu, J. de Paz y E. Gimeno. *III International Congress of the ESSC. Man and Soil at the Third Millenium. Abstracts Book*. Valencia, ESSC (2000), pp. 287.
- JORDÁN, Antonio, Lorena Martínez-Zavala y Nicolás Bellinfante: *Assesment of the erosion risk in humid Mediterranean areas*. Sliema (Malta), Technical Report to the PAP/RAC, UNEP-MAP-PAP, 2000.
- JORDÁN, Antonio, y Nicolás Bellinfante: "Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz)", *Edafología*, 15 (2000), pp 83-92.
- JORDÁN, Antonio: *El medio físico del Campo de Gibraltar: unidades geomorfoedáficas y riesgo de erosión*. Sevilla. Tesis doctoral. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla. Sevilla, 2000.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F.: "El riesgo de desertificación". En: F. Martín de Santaolalla (coord). *Agricultura y desertificación*. Madrid, Ed. Mundi-Prensa (2001) pp: 15-38.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F.: "La degradación de tierras en ambientes áridos y semiáridos. Causas y consecuencias". En: T. Lasanta y J. M. García-Ruiz (eds.). *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Logroño, Instituto de Estudios Riojanos – Sociedad Española de Geomorfología – Geoforma Ediciones (1996) pp. 51-72.
- MORGAN, Roy P. C.: *Erosión y conservación del suelo*. Madrid. Ed. Mundi-Prensa, 1997.
- OOSTWOU, Dirk, Jean Poesen, Liesbeth Vandekerckhove , Jeroen Natchergaele y Jo De Baerdemaeker: "Gully-head morphology and implications for gully development on abandoned fields in a semi-arid environment, Sierra de Gata, Southeast Spain", *Earth Surface processes and landforms*, 24 (1999), pp. 585-603.
- OOSTWOU, Dirk, Jean Poesen, Liesbeth Vandekerckhove y Maryke Ghesquiere: "Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment", *Catena*, 39 (2000), pp. 147-167.
- RIVAS-MARTÍNEZ, Salvador: *Mapa de series de vegetación (E 1:400.000)*. Madrid. ICONA, 1987.
- UNCED: *Report of the United Nations Conference on Environment and Development at Rio de Janeiro. Managing Fragile Ecosystems. Combating Desertification and Drought*. New York, Naciones Unidas, 1992.
- ZINCK, Alfred: *Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. Mérida (Venezuela). Centro Iberoamericano de desarrollo integral de aguas y tierras, 1981.