

# Vulnerabilidad y factores condicionantes de la erosión en la cuenca del río Guadalfeo vertiente al embalse de Rules (Granada)

*Vulnerability and factors determining erosion in the basin of the river Guadalfeo above the dam at Rules (Granada)*

A. Castillo (\*), W. Martín-Rosales (\*\*) y R. Osorio (\*\*\*)

(\*) C.S.I.C. e Instituto del Agua (Univ. Granada). Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental. 18071 Granada  
 (\*\*) Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental. (Univ. Granada). 18071 Granada  
 (\*\*\*) Fundación Empresa-Universidad de Granada

## ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (U.S.L.E.) is used as a criteriaou to measure erosive vulnerability in the basin of the dam at Rules (Granada). The area was discretized by subdivision into 20 hydrologic units.

This paper presents a map of vulnerability to erosion. It also considers the main factors determining erosion and possible action to be taken. The conclusions reached might be applicable to other Mediterranean basins of similar geomorphological characteristics and land use (e.g. Adra, Andarax and Almanzora)

**Key words:** vulnerability to erosion; U.S.L.E.; Betic Cordillera; Guadalfeo river basin

Geogaceta, 20 (5) (1996), 1138-1140  
 ISSN:0213683X

## Introducción

La cuenca del río Guadalfeo vertiente al futuro embalse de Rules posee una extensión de 720 km<sup>2</sup> (excluida la subcuenca del río Izbor regulada por el embalse de Béznar), y recoge parte de las escorrentías de las vertientes meridional de Sierra Nevada y septentrional de las sierras de la Contraviesa y Lújar, en el sureste de la provincia de Granada (Fig. 1). Desde el punto de vista geológico, el área pertenece a la Zona Interna de las Cordilleras Béticas, en la que están especialmente representados los complejos Nevado-filábride (compuesto fundamentalmente por micasquistos paleozoicos) y Alpujárride (integrado por esquistos, filitas y rocas carbonatadas permotriásicas). Con mucha menor entidad aparecen también representados materiales detríticos neógeno-cuaternarios, bien tapizando a los anteriores (como depósitos de ladera, crioclásticos, etc), como aluviales o rellenando pequeñas depresiones (Orgiva y Cádiar).

Las aportaciones medias al embalse, estimadas en 200 hm<sup>3</sup>/año, han venido descargando, en gran medida, al mar Mediterráneo, en un área costera (litoral granadino) donde el agua tiene gran valor para los usos agrícola y turístico. En este

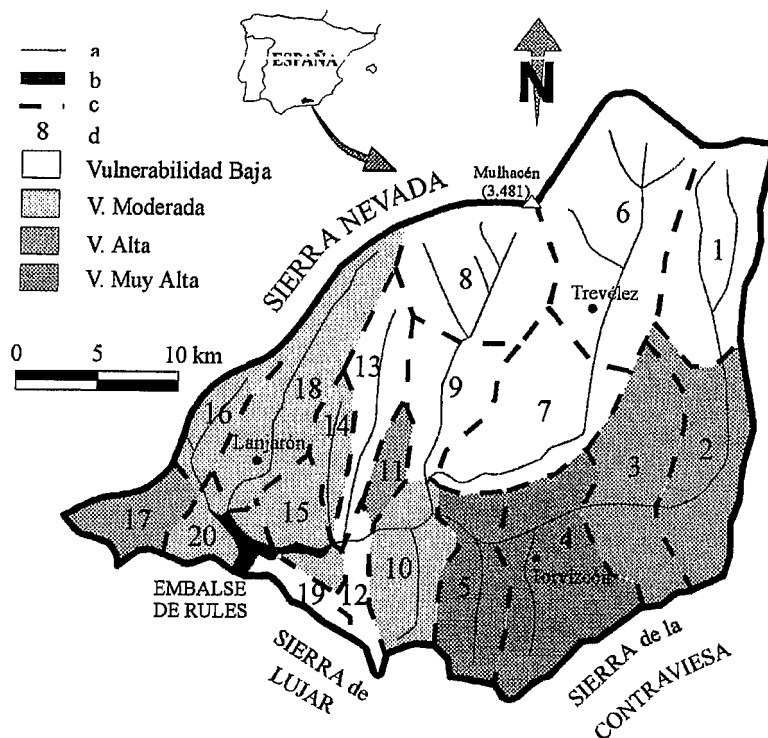


Fig. 1.- Localización geográfica de la cuenca vertiente al embalse de Rules (Granada) y mapa de vulnerabilidad erosiva por subcuencas (a.- cauces principales; b.- límite de cuenca; c.-límite de subcuencas; d.- número de identificación de las subcuencas, en CHSE, 1995)

Fig. 1.- Geographical location of the basin above the Rules dam and map of erosive vulnerability by subbasins (a.- main water courses; b.- basin limits; c.- subbasin limits; d.subbasin identification number, in CHSE, 1995)

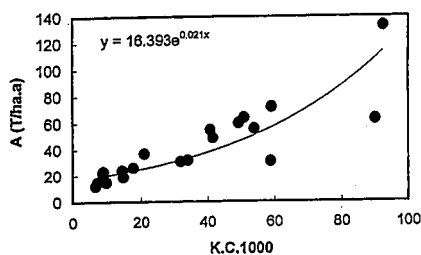


Fig. 2.- Relación pérdidas de suelo - producto de los factores de erosionabilidad del suelo y de cubierta vegetal (K.C.1000), según la U.S.L.E., para las 20 subcuencas consideradas en la cuenca del Guadalfeo vertientes al embalse de Rules

Fig. 2. - Relation between soil loss and product of soil erosionability and vegetation coverage factors (K.C.1.000), derived from the U.S.L.E., for the 20 subbasins of the Guadalfeo basin above the Rules dam

contexto, la construcción de un embalse fue una idea largamente concebida (Almagro, 1932), y sucesivamente descartada por el fuerte carácter torrencial y erosivo de la cuenca, de relieve abrupto, muy deforestada y con alta ocupación de cultivos de secano en pendiente. Catalogada como de actuación preferente (como todo el sureste mediterráneo), las labores de restauración hidrológico-forestal se iniciaron en 1925 sobre algunas áreas especialmente críticas (ríos Chico y Sucio), extendiéndose posteriormente a la mayor parte de las cabeceras de la cuenca; la mejora de la cuenca con estas actuaciones propició que finalmente, en 1989, se tomara la determinación de construir el citado embalse de Rules.

No obstante, y pese a la ardua y continuada labor correctora realizada, la cuenca posee, por sus características naturales, un notable "nivel de base" torrencial y erosivo. De forma muy especial, existe gran riesgo potencial por la combinación de dos elementos característicos del área, como son la alta vulnerabilidad erosiva del eje central de la cuenca media y alta, y de la margen izquierda (cultivos de secano en pendiente sobre esquistos y filitas alpujarrides), junto a la apreciable probabilidad de ocurrencia de altas intensidades de precipitación ligadas a fenómenos tormentosos tipo gota fría. Conviene recordar que estos mismos factores fueron determinantes en la catástrofe ocurrida en octubre de 1973 en las vecinas cuencas de Adra y del Almanzora.

Este trabajo insiste, a partir de la metodología de la U.S.L.E., en los factores erosivos más influyentes y en las posibilidades y prioridades de actuación, identificando las áreas de mayor riesgo erosi-

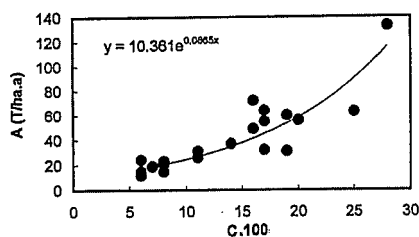


Fig. 3.- Relación pérdidas de suelo - factor de cubierta vegetal (C.100), según la U.S.L.E., para las 20 subcuencas consideradas en la cuenca del Guadalfeo vertientes al embalse de Rules

Fig. 3.- Relation between soil loss and the vegetation coverage factor (C.100), derived from the U.S.L.E., for the 20 subbasins of the Guadalfeo basin above the Rules dam

vo. Otros estudios han abordado aspectos de la erosión en el área, tanto desde perspectivas globales (ICONA, 1988; CHSE, 1993), como desde enfoques más parciales o de detalle (Martínez, 1979; Quirantes, 1986; Delgado Calvo-Flores *et al.*, 1996; Camacho, 1996; Castillo *et al.*, en prensa).

#### Metodología de trabajo

El modelo de la U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation) fue concebido para evaluar las pérdidas del suelo por erosión hídrica laminar y en regueros, del orden del 90 % de las pérdidas hídricas totales de una cuenca media (Mintegui, 1985). Este modelo no tiene en cuenta el transporte de sedimentos, para lo que sería necesario la adopción de métodos como el de la M.U.S.L.E (Modified Universal Soil Loss Equation) o el de transporte de Williams (1975).

El modelo U.S.L.E. se presta a un empleo versátil, lo que permite otras aplicaciones de interés, como podrían ser las de carácter predictivo y de evaluación de actuaciones y las de vulnerabilidad erosiva, aspecto este último desde el que se enfoca el presente trabajo. El modelo citado se basa en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, definida por Wischmeier y Smith (1958) mediante la expresión:

$$A = R \cdot K \cdot (S \cdot L) \cdot C \cdot P$$

en la que: A = pérdida del suelo por erosión hídrica laminar y en regueros; R = factor erosividad de la lluvia o índice de erosión pluvial; K = factor erosionabilidad del suelo; S.L = factor de relieve o topográfico; C = factor cultivo o de vegetación; y P = factor de prácticas de con-

servación.

Al tratarse de una cuenca demasiado extensa (720 km<sup>2</sup>) para la aplicación de la U.S.L.E. (establecida sobre parcelas experimentales), y de características físicas y usos del suelo muy dispares, se procedió a su discretización a través de la subdivisión en 20 unidades hidrográficas (en su mayoría de 20 a 50 km<sup>2</sup>; Fig. 1; CHSE, 1993 y 1995). En la medida de lo posible, se intentó la homogeneidad litológica y de usos del suelo, sin recurrir a excesivas subdivisiones, aumentando con ello el poder resolutivo de los análisis efectuados.

Para la asignación de valores a los diferentes factores de la ecuación se adoptaron los criterios establecidos para el área mediterránea (de Simón *et al.*, 1993). Para el índice de erosión pluvial, o factor de erosividad de la lluvia (R), se utilizó la fórmula propuesta para el área por Mintegui (1985). Para el factor de erosionabilidad del suelo (K) se adoptaron los criterios de Simón *et al.*, (1993), teniendo en cuenta los valores de pedregosidad superficial, estructura y permeabilidad obtenidos para los mapas de suelo del Proyecto LUCDEME (ICONA, 1988). En el factor de relieve o topográfico (S.L) se aplicó la ecuación definida por Wischmeier (en ICONA, 1990) para pendientes superiores al 9 %. Para el factor de cubierta vegetal (C) se utilizó el cuadro de valores propuesto por ICONA (1990). Para el factor de prácticas de conservación (P) se aplicó, con alguna modificación, el criterio del servicio de conservación de suelo americano, recogido de Mintegui (1985).

#### Resultados y discusión

A partir de los valores obtenidos, para las 20 subcuencas consideradas, se elaboró el mapa de pérdidas del suelo de la figura 1, asimilado como mapa de vulnerabilidad erosiva de la cuenca. En él se distinguieron cuatro categorías, correspondientes a: a) vulnerabilidad baja (pérdidas de suelo -potenciales- inferiores a 30 t/ha.año), b) moderada (30-50 t/ha.año), c) alta (50-70 t/ha.año), y d) muy alta (> 70 t/ha.año). Las subcuencas con baja vulnerabilidad ocuparon 344 km<sup>2</sup>, superficie equivalente al 48 % del total de la cuenca. Las subcuencas con vulnerabilidad media, alta y muy alta presentaron extensiones de 140, 147 y 89 km<sup>2</sup> respectivamente, correspondientes a porcentajes con respecto al total del 19, 21 y 12 %. La pérdida media de suelo obtenida para la cuenca completa (720 km<sup>2</sup>) fue de 42 t/ha.año, equivalente, según la clasificación adoptada por la FAO (FAO *et al.*,

1980), a un grado de erosión hídrica moderado. En la colindante cuenca del río Adra (726 km<sup>2</sup>), de características muy similares, otros autores, aplicando la misma metodología U.S.L.E., obtuvieron valores de pérdidas del suelo de 47 t/ha.año.

Los resultados obtenidos permitieron distinguir tres grandes dominios físicos de comportamiento erosivo diferenciado (Fig. 1). El primero sería el integrado por las subcuencas pertenecientes a las laderas altas de la vertiente meridional de Sierra Nevada, con baja vulnerabilidad erosiva; se trata de áreas de micasquistos nevado-filábrides, aceptablemente bien cubiertas por vegetación natural y repoblada, y escasamente ocupadas por roturaciones y cultivos (áreas incluidas en el Parque Natural de Sierra Nevada); a este dominio pertenecen también, por motivos diferentes, la sierra carbonatada de Lújar. En el dominio opuesto, correspondiente a áreas con vulnerabilidad erosiva alta o muy alta, se hallarían las subcuencas de esquistos y filitas alpujárrides del eje central de la cuenca media y alta, y de la sierra de la Contraviesa, con altas ocupaciones de cultivos de secano en pendiente. El tercer dominio, intermedio entre los anteriores, de vulnerabilidad media e incluso alta, estaría integrado por subcuencas ocupadas por materiales esquistosos alpujárrides y/o nevado-filábrides, con mezcla dispar de cubierta vegetal y cultivos de secano en pendiente o paratas; estos factores fueron propios de las bajas laderas suroccidentales de Sierra Nevada y de la sierra de los Guájares.

Las áreas de mayor vulnerabilidad erosiva fueron, en orden de importancia, las subcuencas de Torvizcón (4), Alcázar (5), Lobras (3), Cerrada de Rules (20) y Bajo Cádiz (2).

El análisis de los criterios y rangos asignables a los diferentes factores de la U.S.L.E. (establecidos para parcelas experimentales) pone de manifiesto la preponderancia que el factor C tiene sobre todos los demás. El análisis de influencia de los distintos factores en el área concreta de estudio permitió estimar sus diferentes "pesos" y valores discriminantes. De este modo, se comprobó que en el valor final de pérdidas de suelo tuvo un efecto decisivo el factor de cubierta vegetal (C), y, en segundo lugar, el de erosio-

nabilidad del suelo (K). La combinación de altos valores de C (cultivos de secano en pendiente de almendros y vides) con altos valores de K (filitas y esquistos alpujárrides) fue totalmente determinante en el grado erosivo obtenido. En la figura 2 se expone la relación pérdidas de suelo - producto de los factores C y K para las 20 subcuencas consideradas; la distribución se ajustó a una función exponencial. De modo similar, en la figura 3 se presenta la relación con el factor de cubierta vegetal, también de tipo exponencial. En ambos casos existe una alta dependencia y excelente ajuste de los factores citados con las pérdidas de suelo obtenidas. Ello permitiría, llegado el caso, la adopción de un modelo paramétrico, que simplificara en gran medida el proceso de cálculo de la U.S.L.E. para el área estudiada, e incluso para otras del ámbito mediterráneo y de características similares.

Poco discriminantes, y de influencia moderada, fueron los factores de relieve (S.L.) y de prácticas de conservación del suelo (P); en una situación intermedia quedó el factor de erosividad de la lluvia (R). En concreto, los valores de relieve estuvieron comprendidos entre 13 y 7, los de prácticas de conservación entre 1,00 y 0,88, y los de erosividad de la lluvia entre 231 y 98.

La cartografía de vulnerabilidad por subcuencas (Fig. 1), así como la determinación de los factores de mayor peso en el riesgo erosivo, son claves para establecer las pautas de actuación preferente. En síntesis, estas se concretarían en una actuación espacial priorizada, prestando atención preferente en disminuir el valor del factor C (cubierta vegetal) en las laderas de esquistos y filitas alpujárrides con cultivos de secano de almendros y vides en pendientes superiores al 35 %. En fecha reciente, la CHSE ha comenzado los trabajos de corrección hidrológico-forestal de la cuenca vertiente al embalse de Rules con unos criterios de actuación en línea con los comentados (CHSE, 1995).

#### Agradecimientos

Esta investigación se llevó a cabo en el marco de un contrato de Asistencia Técnica suscrito entre la Fundación Empresa-Universidad de Granada y la empresa

Floresur, para el "Anteproyecto de restauración hidrológico-forestal de la cuenca del embalse de Rules sobre el río Guadalfeo" (OMICRON). El Director de Proyecto fue D. Francisco Vázquez Sell, de la CHSE.

#### Referencias

- Almagro, J. (1932): *Torrentes y pantanos en Sierra Nevada*. Madrid. 61 pp
- Camacho, M.T. (1996): *la Conf Intern. Sierra Nevada* (en prensa)
- Castillo, A.; Marhn, W. y Osorio, R: (en prensa). *Geogaceta*
- CHSE (1993). *Anteproyecto de restauración hidrológico-forestal de la cuenca del embalse de Rules sobre el río Guadalfeo (Granada)*. Inf. DGOH. Madrid
- CHSE (1995): *Restauración hidrológico-forestal de la cuenca alimentadora del embalse de Rules en el río Guadalfeo. Granada*. Serv. Publ. CHSE. 275 pp
- De Simón, E.; Mintegui, J.A.; García, J.L. y Robledo, J.C. (1993): *La restauración hidrológico-forestal en las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea*. Junta Andalucía. 325 pp
- Delgado Calvo-Flores, G.; Sánchez Marañón, M.; Martín-García, J.M. y Delgado Calvo-Flores, R. (1996): *1ª Conf. Intern. Sierra Nevada* (en prensa)
- FAO, PNUMA y UNESCO (1980): *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos*. Roma. 86 pp
- ICONA (1988): *Proyecto LUCDEME (Cuenca del río Guadalfeo)*. MAPA. Madrid
- ICONA (1990): *Mapas de estados erosivos de la CHSE*. Madrid. 78 pp
- Martínez, F. (1979): *Cuad. Geográficos*. Univ. Granada, 9: 151-186
- Mintegui, J.A. (1985): *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica*. DGMA. Madrid. 150 pp
- Quirantes, J. (1986): *Cuad. Geográficos*. Univ. Granada, 15: 89-98
- Williams, J.R. (1975): *Water Resour. Bull.*, 11: 5
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1958): *Trans. Amer. Geophysical Union*, 39: 285-291