

RASGOS HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA VERTIENTE AL EMBALSE DE RULES EN EL RÍO GUADALFEO (GRANADA)

W. Martín Rosales¹, A. Castillo² y R. Osorio³

¹ G. I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental, Universidad de Granada

² C.S.I.C. e Instituto del Agua (Univ. Granada). G. I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental

³ Fundación Empresa-Universidad de Granada

RESUMEN.- El análisis del medio físico y del comportamiento hidrológico de las distintas subcuencas que integran la cuenca vertiente al embalse de Rules, ponen de manifiesto su marcado carácter torrencial, acentuado sobre todo en el sector oriental del área estudiada. La cuantificación de la erosión hídrica mediante la aplicación del modelo USLE permite identificar además una serie de subcuencas con especial vulnerabilidad al fenómeno erosivo, en las cuales se han deducido pérdidas potenciales de suelo superiores a 50 t/ha/año. El valor promedio hallado para todo el área estudiada, unas 42 t/ha/año, es similar al estimado en cuencas próximas y al de la cuenca Sur. El agrupamiento de las distintas unidades por sectores de igual vulnerabilidad a la erosión hídrica ha permitido priorizar las medidas de actuación con el objeto de minimizar, en lo posible, los efectos erosivos y prolongar así la vida útil del futuro embalse de Rules.

Palabras clave: hidrología superficial, precipitación máxima, escorrentía, caudal punta, erosión hídrica, USLE, río Guadalfeo.

INTRODUCCIÓN

El área estudiada corresponde a la cuenca vertiente al futuro embalse de Rules sobre el río Guadalfeo, excluida el área vertiente al embalse de Béznar, y abarca una extensión de 720 km², siendo su desnivel máximo 3.312 m. Integrada a efectos administrativos dentro de la Cuenca Sur de España, 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 (figura 1). El embalse, con una capacidad aproximada de 120 hm³, posee unas aportaciones medias del orden de 200 hm³/año, que hasta hoy vienen descargando, en gran medida, al mar Mediterráneo.

La precipitación media anual de la cuenca es de aproximadamente 620 mm, con un gradiente pluviométrico de 16 mm/100 m (Alwani, 1991); en las cotas más bajas las precipitaciones apenas si alcanzan los 500 mm/año, mientras que en las elevaciones montañosas se superan los 1.000 mm, frecuentemente en forma de nieve.

Para llevar a cabo el estudio hidrológico del área considerada, se dividió la misma en 20 subcuencas o unidades hidrológicas suficientemente homogéneas, tal y como se recoge en la figura 1.

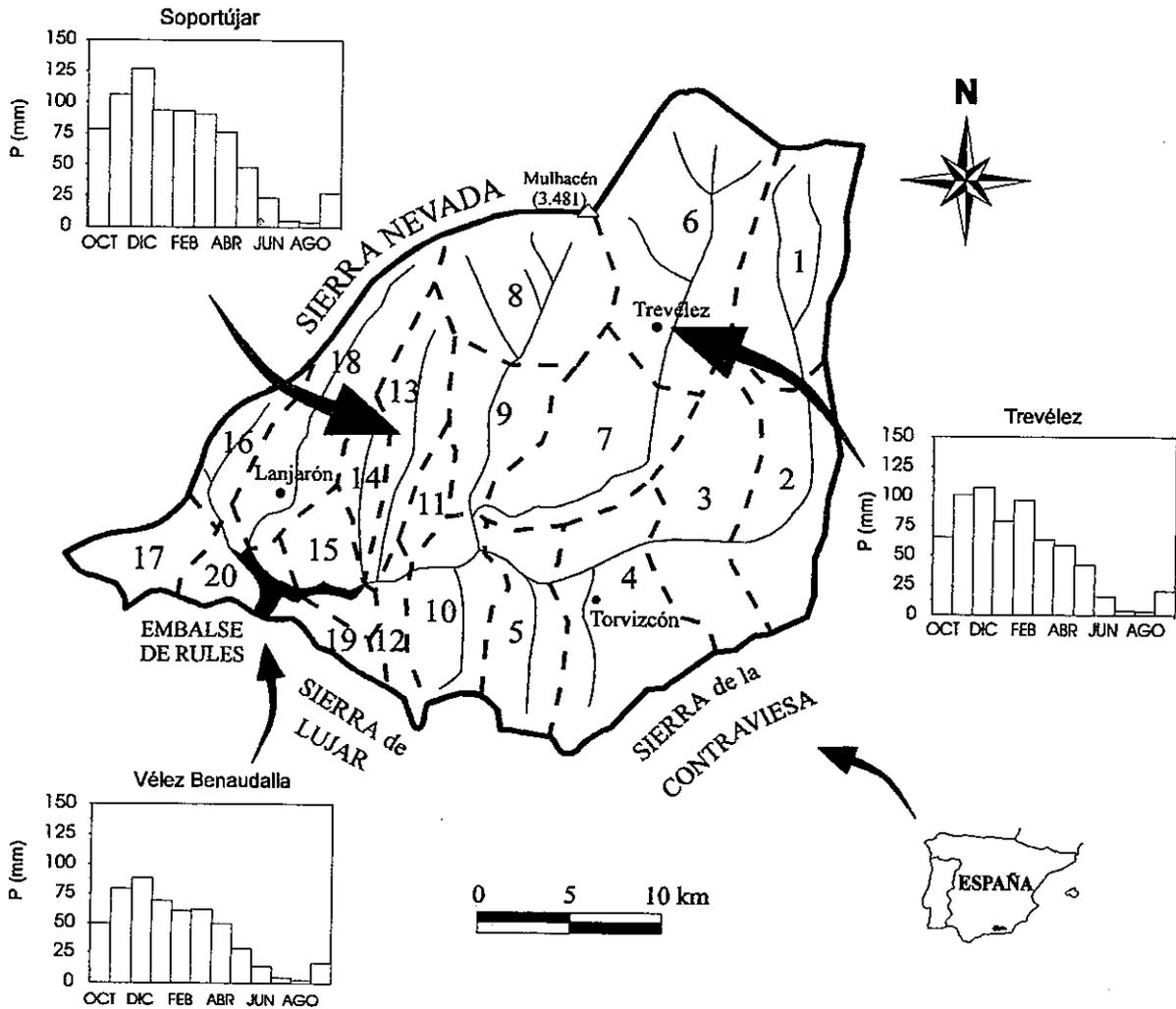


Figura 1.- Localización del área estudiada, subcuencas consideradas y precipitaciones medias mensuales en algunas estaciones meteorológicas representativas (Alwani, 1991).

EL MEDIO FÍSICO

La caracterización cuantitativa de la morfología de las distintas subcuencas se llevó a cabo mediante una serie de indicadores comúnmente utilizados en este tipo de estudios, y que se recogen en la tabla 1. Según un punto de vista topográfico, la cuenca se caracteriza en general por presentar elevadas pendientes; destacan en este sentido las subcuencas 9 y 12, con pendientes medias del 51 y 53 %, respectivamente. Los valores más bajos corresponden al sector meridional de la cuenca y a la depresión neógena de Órgiva; sin embargo, el 54 % del territorio considerado presenta valores superiores al 40 % de pendiente (figura 2b), lo que confiere a la cuenca un notable nivel de base erosivo, hecho constatable además a partir del análisis hipsométrico de las distintas subcuencas (figura 2a, cuenca del río Trevélez).

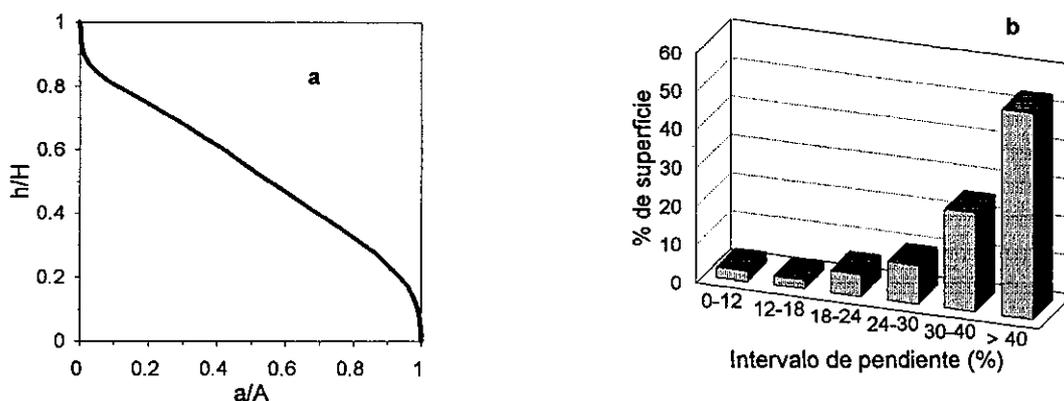


Figura 2.- Curva hipsométrica porcentual de la cuenca del río Trevézlez (subcuencas 6 y 7, figura 2a) e histograma de pendientes de la cuenca vertiente al futuro embalse de Rules (2b).

Nº	NOMBRE	S	Am	Ar	Pm	Ic	a
1	Alto Cádíar	52.7	2.205	1.630	37	1.22	1.75
2	Bajo Cádíar	46.1	1.200	1.804	41	1.78	2.25
3	Lobras	53.8	1.196	1.670	41	1.45	2.10
4	Torvizcón	52.9	1.012	1.066	47	1.60	1.87
5	Alcázar	35.8	901	1.156	44	1.47	2.06
6	Alto Trevézlez	89.3	2.443	2.162	42	1.22	1.71
7	Bajo Trevézlez	60.4	1.543	2.235	43	1.32	2.51
8	Alto Poqueira	54.6	2.485	1.942	45	1.12	1.09
9	Bajo Poqueira	35.9	1.617	2.140	51	1.39	1.81
10	Tablones	34.5	816	1.550	41	1.38	2.10
11	Río Seco	12.5	893	1.730	43	1.61	2.64
12	Castillejos	12.1	1.078	1.545	53	1.78	2.51
13	Río Chico	31.4	1.795	2.801	38	1.71	3.15
14	Río Sucio	13.9	1.154	2.048	34	1.74	2.36
15	Chuca	23.6	542	1.160	30	1.62	1.57
16	Tablate	17.5	1.067	2.120	41	1.65	2.42
17	Zaza	16.3	912	1.111	45	1.40	2.03
18	Lanjarón	50.8	1.724	2.922	44	1.72	3.00
19	Negra	7.2	979	1.490	43	1.67	2.89
20	Cerrada Rules	18.4	502	675	35	1.67	2.19

Tabla 1.- Características físicas de las subcuencas consideradas. S: superficie, en km²; Am: altitud media, en m s.n.m.; Ar: amplitud de relieve, en m; Pm: pendiente media, en %; Ic: índice de compacidad, y a: alejamiento medio

En lo que a geología se refiere, el área estudiada pertenece al dominio de las Cordilleras Béticas, y en ella están representados los complejos Nevado Filábride y Alpujárride; completan la geología del sector los materiales postorogénicos depositados, principalmente, en las depresiones de Cádíar y Órgiva (neógenos y cuaternarios), así como los cuaternarios indiferenciados y los aluviales que acompañan a ríos y ramblas. Para el análisis hidrológico efectuado se diferenciaron cinco grandes grupos litológicos: micasquitos nevado-filábrides (57 % de la cuenca), rocas carbonatadas alpujárrides (15 %), esquistos alpujárrides (14 %), filitas alpujárrides (10 %), y conglomerados y arcillas postorogénicas (4 %).

Otro factor de notable trascendencia en la respuesta hidrológica de la cuenca frente a las

precipitaciones es la distribución espacial de los distintos tipos de vegetación y usos del suelo. Para tal fin, se recurrió a cartografías a escala 1:10.000 y 1:20.000 del Mapa Topográfico de Andalucía (MTA); en ambos casos, se llevó a cabo una somera verificación y contraste de dichos mapas en campo, en gran parte encaminada a caracterizar los términos diferenciados en las respectivas leyendas. Las zonas de cultivo corresponden en su mayoría a almendros y vides labradas, en muchas ocasiones, según máxima pendiente, siendo escasas las superficies aterrazadas. Una muy buena protección del suelo es la ofrecida por los cultivos de la vertiente sur de Sierra Nevada, donde existen terrazas y banales escalonados, con cultivos de regadío y zonas de frutales densas, alternando hacia las partes más altas con masas arbóreas de notable densidad. En las subcuencas próximas a la presa de Rules (subcuencas 17 y 20), dominan los cultivos de secano, también sobre pendientes elevadas. Otro aspecto a tener en cuenta es la inexistencia de masas arbóreas o de matorral en el sector de la Contraviesa, debido a la puesta en cultivo de la práctica totalidad de su superficie, quedando tan sólo relictos de matorral y encinares aislados en cauces y barrancos.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

Uno de los métodos más utilizados en la estimación de crecidas es el análisis estadístico de caudales máximos instantáneos. En la cuenca considerada se ha trabajado con las series foronómicas aportadas por 3 estaciones de aforo, algunas en funcionamiento desde 1942. Sin embargo, mientras que en algunas de ellas sólo se disponía de caudales medios diarios, en otras las series no eran lo suficientemente extensas, hecho que obligó a simular el proceso de escorrentía mediante procedimientos indirectos, concretamente a través del método del Número de Curva (SCS, 1972). Éste consiste básicamente en la estimación de la escorrentía directa producida por un aguacero aislado a partir de la precipitación, condiciones de humedad del suelo previas a la tormenta considerada, y del valor del "Número de Curva", parámetro cuantificador de las características del complejo suelo-vegetación, y representativo de los factores que influyen en el proceso de infiltración.

El primer paso consistió en la estimación de las precipitaciones de avenida, operación que se llevó a cabo a partir del análisis probabilístico de las lluvias máximas en 24 horas, y calculadas para un periodo de retorno de 10 años, valor éste de frecuente uso en proyectos de restauración Hidrológico-Forestal. Se asumió asimismo un aguacero tipo de 6 horas de duración, deducido a partir de los valores de precipitación máxima calculados y considerándose la máxima intensidad horaria en la zona central del hietograma (De Simón *et al.*, 1993).

La asignación del Número de Curva en cada subcuenca se efectuó a partir de la superposición y planimetrado de las cartografías litológica, y de vegetación y usos del suelo, y según una condición antecedente de humedad de tipo III (AMC III), es decir, correspondiente a la situación más desfavorable desde un punto de vista hidrológico. Finalmente, y una vez calculado en cada subcuenca el tiempo de concentración (t_c), se estimó para cada una de ellas el correspondiente hidrograma de crecida (figura 3), empleándose para tal fin el programa CAUDAL3 (Mintegui y Robredo, 1994); los resultados del análisis aparecen recogidos en la tabla 2; dichos valores están referidos a cada subcuenca de forma aislada, es decir, sin considerar posibles aportes procedentes de otras subcuencas.

Los caudales punta estimados son comparables a los deducidos mediante otras fórmulas (in Heras, 1976) y, en general, bastante elevados, sobre todo en el sector oriental de la cuenca, que es donde las precipitaciones máximas son más elevadas. Heras (*op. cit.*) estimó caudales punta para la cuenca del río Guadalfeo de 1.400, 1.750 y 2.100 m³/s, para periodos de recurrencia de 25, 50 y 100 años, respectivamente, deducidos también mediante métodos empíricos.

N°	NOMBRE	Tc	P (24 h)	P (6 h)	Qp (l)	METODO SCS		
						NC	Qp	Tp
1	Alto Cádíar	1.98	145	102	196	69	161	5.2
2	Bajo Cádíar	2.16	154	108	167	78	228	5.2
3	Lobras	2.19	145	102	181	78	242	6.2
4	Torvizcón	2.37	121	85	155	83	204	7.2
5	Alcázar	1.99	110	77	103	78	103	8.5
6	Alto Trevélez	2.37	150	105	298	69	269	5.5
7	Bajo Trevélez	2.55	135	95	194	75	206	7.0
8	Alto Poqueira	1.26	130	91	227	68	156	4.7
9	Bajo Poqueira	1.43	127	89	146	72	115	6.2
10	Tablones	1.84	103	72	79	69	51	5.5
11	Río Seco	1.24	106	74	53	79	45	4.3
12	Castillejos	1.21	100	70	35	65	13	4.9
13	Río Chico	2.06	104	73	104	72	55	5.5
14	Río Sucio	1.22	97	68	58	77	37	4.4
15	Chuca	1.25	91	64	65	73	39	4.6
16	Tablate	1.30	80	56	57	80	35	4.5
17	Zaza	1.30	73	51	46	73	15	4.0
18	Lanjarón	2.52	96	67	136	72	72	4.0
19	Negra	1.05	95	67	24	65	7	4.7
20	Cerrada Rules	1.60	83	58	54	79	35	4.9

Tabla 2.- Resumen del análisis hidrológico de las subcuencas consideradas. Tc: tiempo de concentración, en horas; P(24): precipitación máxima en 24 horas para T = 10 años, en mm; P(6): precipitación máxima en 6 horas para T = 10 años, en mm; Qp (1): caudal máximo para T = 10 años deducido a partir de fórmulas o métodos empíricos, en m³/s; NC: Número de Curva; Qp: caudal punta, en m³/s y Tp: tiempo que se tarda en alcanzar Qp, en horas.

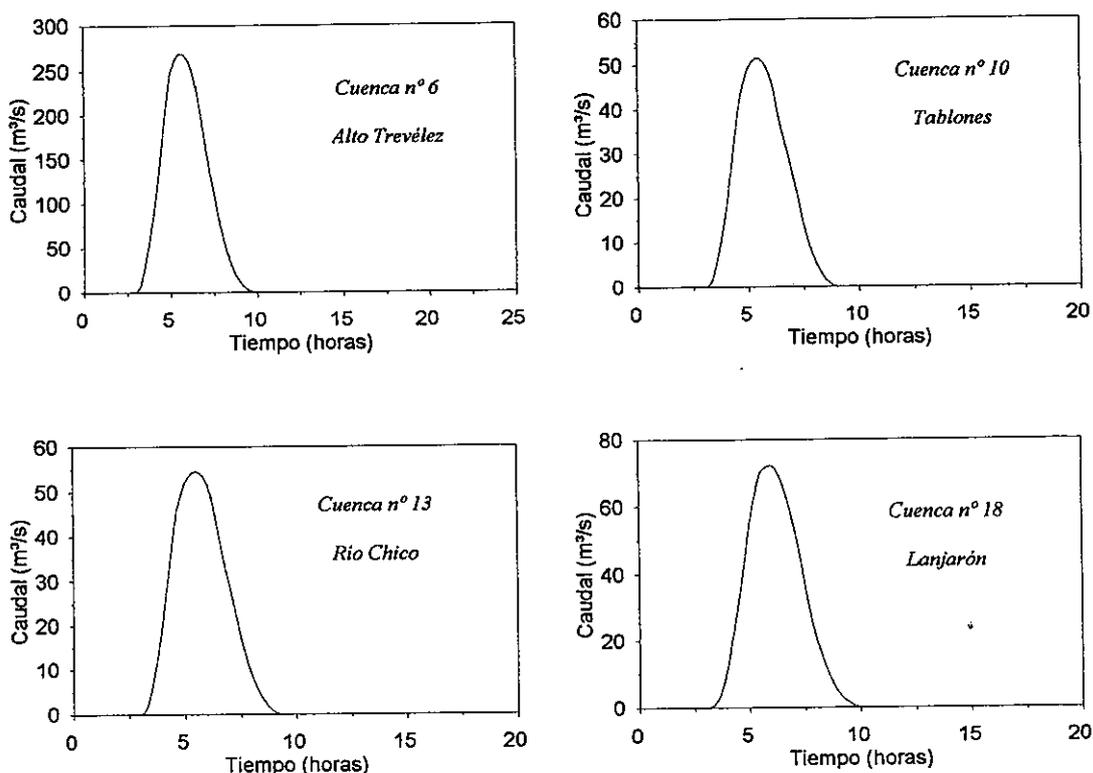


Figura 3.- Hidrogramas de crecida correspondientes a varias subcuencas para T = 10 años.

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Se han estimado las pérdidas de suelo debidas a la erosión hídrica en cada subcuenca a partir de la aplicación del modelo USLE (Universal Soil Loss Equation), formulada inicialmente por Wischmeier (1959) y publicada posteriormente en su forma definitiva por Wischmeier y Smith (1962, 1978). La ecuación estima las pérdidas de suelo anuales, como valor promedio de un periodo representativo de años, que se producen en una parcela o superficie de terreno, debidas a la erosión superficial y en regueros, ante unas condiciones determinadas de clima (R), suelo (K), relieve (LS), vegetación (C) y usos del suelo (P), de acuerdo con la expresión:

$$A \text{ (t/ha/año)} = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Los valores medios de pérdida de suelo correspondientes a cada subcuenca aparecen reflejados en la tabla 3 (Castillo *et al.*, 1996a), indicándose además el grado de erosión según la clasificación propuesta por FAO (1980).

Nº	NOMBRE	A (t/ha/año)	Grado Erosivo (FAO, 1980)
1	Alto Cádíar	12.3	Moderada
2	Bajo Cádíar	59.9	Alta
3	Lobras	63.7	Alta
4	Torvizcón	133.3	Alta
5	Alcázar	72.0	Alta
6	Alto Trevélez	20.8	Moderada
7	Bajo Trevélez	15.4	Moderada
8	Alto Poqueira	23.0	Moderada
9	Bajo Poqueira	15.1	Moderada
10	Tablones	31.1	Moderada
11	Río Seco	55.5	Alta
12	Castillejos	23.6	Moderada
13	Río Chico	26.2	Moderada
14	Río Sucio	31.6	Moderada
15	Chuca	31.2	Moderada
16	Tablate	48.9	Moderada
17	Zaza	55.0	Alta
18	Lanjarón	37.4	Moderada
19	Negra	18.5	Moderada
20	Cerrada Rules	62.9	Alta

Tabla 3.- Valores de pérdidas de suelo obtenidos para las 20 subcuencas consideradas mediante el modelo USLE y grado erosivo según la clasificación de FAO (1980).

Como puede verificarse, todas las subcuencas presentan pérdidas de suelo potenciales muy por encima de las tolerables, que suelen cifrarse entre 2 y 12 t/ha/año, dependiendo del soporte edáfico y la pendiente del terreno (Mintegui *et al.*, 1985).

A partir de estos resultados, Castillo *et al.* (1996b) elaboraron un mapa de pérdidas del suelo (figura 4), 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 vulnerabilidad baja representan un 48 % de la superficie total de la cuenca, mientras que las de vulnerabilidad media, alta y muy alta suponen el 19, 21 y 12 %, respectivamente.

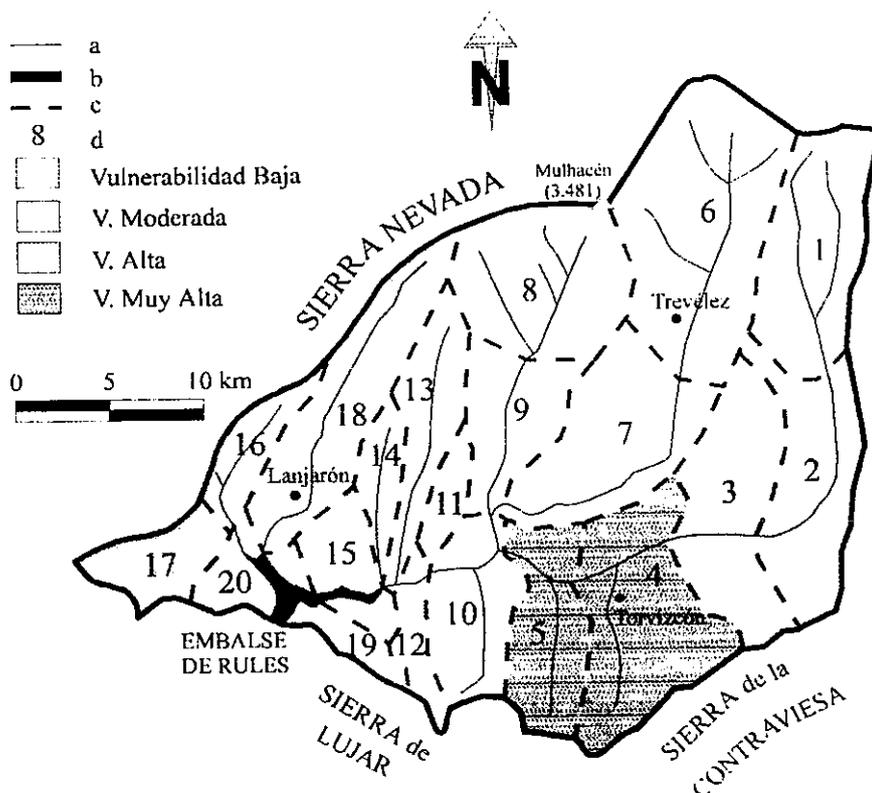


Figura 4.- Mapa de vulnerabilidad erosiva por subcuencas para el área estudiada vertiente al embalse de Rules (tomado de Castillo et al., 1996a). a: cauces principales; b: límite de cuenca; c: límite de subcuenca y d: n° de identificación de subcuenca.

El valor promedio de pérdida de suelo potencial resultante para el área estudiada fue de 41.75 t/ha/año, muy similar al deducido por otros autores en diversas áreas del sureste español (tabla 4), así como al valor medio correspondiente a la Cuenca Sur, estimado en 40.13 t/ha/año (Almorox et al., 1994).

CUENCA	LOCALIZACIÓN	MÉTODO	A	REFERENCIA
Ugíjar	Almería	Agujas Erosión	36.9 - 94.6	Scoging (1982)
Rambla del Aljibe	Almería	USLE	57.64	De Simón et al. (1993)
Río Adra	Almería-Granada	USLE	48.40	Mintegui (1989)
Río Guadalfeo	Granada	USLE	41.75	Castillo et al. (1996a)
Cuenca Sur	S de España	USLE	40.13	Almorox et al. (1994)
S. de Gádor (vert. sur)	Almería	USLE	37.59	ICONA (1977)
Río Segura	Murcia	USLE	30.00	Romero et al. (1992)
Río segura	Murcia	USLE	24.53	Almorox et al. (1994)

Tabla 4.- Tasas de erosión (A, en t/ha/año) estimadas en diversas áreas del sureste peninsular, incluida, en negrita, la cuenca de estudio..

CONCLUSIONES

La cuenca vertiente al futuro embalse de Rules sobre el río Guadalfeo presenta unas peculiares características topográficas, climáticas, hidrológicas y de usos del suelo, que le otorgan una elevada torrencialidad. Las subcuencas de Lobras, Bajo Cádíar, Torvizcón y Río Seco presentan

los mayores caudales específicos de avenida. En los casos de las subcuencas de Lobras (3), Torvizcón (4), Alcázar (5) y Cerrada de Rules (20), se trata, además, de los sectores más vulnerables al fenómeno erosivo, al poseer las mayores tasas de pérdidas de suelo.

Los estudios realizados han servido de base a la CHSE para elaborar una serie de planes de actuación, priorizados regionalmente (Vázquez Sell, 1993). Entre dichas acciones previstas, caben destacar la construcción de numerosos diques de mampostería hidráulica y gavionada, que serán instalados en las cuencas de mayor riesgo erosivo antes mencionadas, y la revegetación en fajas y cauces en las laderas de la Contraviesa vertientes al embalse de Rules.

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 del mencionado Proyecto fue D. Francisco Vázquez Sell, de la CHSE.

BIBLIOGRAFÍA

- Alwani, G. (1991). La distribución pluviométrica en la cuenca del río Guadalfeo y su influencia en la evolución espacial y temporal de sus recursos hídricos. *III SIAGA*, Córdoba, 1:43-54.
- Almorox, J., De Antonio, R., Saa, A., Díaz, M.C. y Gascó, J.M. (1994). *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. Ed. Agrícola Española, 152 p., Madrid.
- Castillo, A., Martín Rosales, W. y Osorio, R. (1996a). Erosión hídrica en la cuenca del río Guadalfeo (Granada); estudio comparativo de las metodologías de la USLE y Fournier. *Geogaceta*, 19:142-145.
- Castillo, A., Martín Rosales, W. y Osorio, R. (1996b). Vulnerabilidad y factores condicionantes de la erosión en la cuenca del río Guadalfeo vertiente al embalse de Rules (Granada). *Geogaceta*, 20 (5):1138-1140.
- De Simón, E., Mintegui, J.A., García Rodríguez, J.L. y Robredo, J.C. (1993). *La restauración hidrológico-forestal en las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea*. Informaciones Técnicas 22/93, Junta de Andalucía, 325 p., Sevilla.
- FAO (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos*. FAO, 86 p., Roma.
- Heras, R. (1976). *Hidrología y recursos hidráulicos*. D.G.O.H. Centro de Estudios Hidrográficos, 1588 p., Madrid
- ICONA (1977). Proyecto de restauración hidrológico forestal de la vertiente sur de la sierra de Gádor para la defensa del Campo de Dalías. Provincia de Almería. *ICONA* (difusión restringida), 11 tomos, Madrid.
- Mintegui, J.A. et al. (1985). *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica*. DGMA, 150 p., Madrid.
- Mintegui J.A. (1989). Evolución de los beneficios derivados de la restauración hidrológico-forestal y conservación de suelos en cuencas torrenciales. En Degradación de zonas áridas en el entorno mediterráneo. MOPU, pp: 37-54, Madrid.
- Mintegui, J.A. y Robredo, J.C. (1993). *Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica*. Fundación Conde del Valle de Salazar, ETSI de Montes, 88 p., Madrid.

- Romero, M.A., Cabezas, F., y López Bermúdez, F. (1992). Erosion and fluvial sedimentation in the river Segura Basin (Spain). *Catena*, 19:379-392.
- Scoging, H.M. (1982). Spatial variations in infiltration runoff and erosion on hillslopes in semi-arid Spain. In Brian, R.B. & Yair, A. , Eds. *Badlands geomorphology and Piping*, Geobooks, pp: 89-112, Norwich.
- Soil Conservation Service (1972). *National Engineering Handbook, sec. 4, Hydrology*. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C.
- Vazquez Sell, F. (1993). Restauración Hidrológico-Forestal de la cuenca alimentadora del embalse de Rules en el río Guadalfeo (Granada). *Confederación Hidrográfica del Sur de España*, 275 p.+5 planos, Málaga.
- Wischmeier, W.H. (1959). A rainfall erosion index for a Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 23:246-249.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1962). Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. *Int. Assoc. Scient. Hydrol. Pub.*, 59:148-159.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. USDA Agr. Res. Serv. Handbook, nº 537.