

LOS DIQUES DE CORRECCIÓN HIDROLÓGICA COMO INSTRUMENTOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN

A. ROMERO DÍAZ

Departamento de Geografía, Universidad de Murcia
Campus de La Merced, 30.001 Murcia

Correo electrónico de contacto: arodi@um.es

RESUMEN. Los diques de corrección hidrológica tienen como finalidad principal retener sedimentos y laminar las puntas de avenidas. No obstante, los sedimentos retenidos en ellos constituyen una fuente de información muy valiosa para poder cuantificar la erosión de sus cuencas vertientes y estimar tasas. El objetivo de este trabajo ha sido utilizar los sedimentos retenidos en 425 diques construidos en la cuenca del río Quipar (afluente del río Segura con una superficie de 826 km²) como instrumentos de cuantificación de la sedimentación y la erosión. De la totalidad de los diques construidos en dos proyectos (años 1962 y 1996) realizados por la CHS, en 378 diques se ha podido cuantificar el volumen de sedimentos retenidos, que asciende a un total de 687.416 toneladas, y de 195 diques (de los que se disponía de los datos necesarios) se han calculado tasas de erosión. Las tasas de erosión obtenidas por diques y subcuencas presentan una variabilidad muy elevada. El valor medio de erosión para el conjunto de la cuenca del río Quipar es de 4 t/ha/año, valor similar al obtenido mediante técnicas batimétricas, pero muy inferior al calculado mediante la USLE. La litología existente en las cuencas vertientes a los diques constituye el factor determinante de su tasa de erosión y, en consecuencia, de su vida útil. Los diques colmatados y con menor vida útil se localizan sobre margas y los que se encuentran sin colmatar y con una vida útil muy larga se asientan sobre calizas.

ABSTRACT. Check dams have as a main purpose to retain sediments and reduce the peak flows in torrential rivers and ravines. The sediments retained upstream of the dams constitute a very valuable information source to quantify soil erosion and transport at basin scale. The aim of this work is to use the accumulated sediments in 425 check dams constructed in the Quipar River (a tributary of the Segura River, SE Spain, with an area of 826 km²). From all the check dams constructed in two periods (1962 and 1996), in 378 it was possible to quantify the volume of retained sediments, amounting to a total of 687.416 tons. Besides, erosion rates were estimated in 195 check dams. Erosion rates show a high vari-

ability. Average erosion for the whole basin of the Quipar River is about $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, a value similar to that obtained by bathimetric techniques, although much lower than that calculated with USLE. Lithology is the most determinant factor in explaining the erosion rate, in such a manner that check dams with the highest erosion rates are located on marls, conversely to those on limestones.

Palabras clave: diques de corrección hidrológica, tasas de erosión, sedimentación, sureste de España

Key words: check dam, erosion rates, sedimentation, Southeast Spain

Enviado el 14 de marzo de 2008

Aceptado el 15 de julio de 2008

1. Introducción y objetivos

La construcción de diques de corrección hidrológica suele hacerse en cuencas de todo el mundo y en España son bastantes usuales (Varela Nieto, 1999; Martínez de Azagra *et al.*, 2002), pero donde se encuentran en mayor número es en áreas semiáridas, debido a la escasa cubierta vegetal, torrencialidad de las precipitaciones y, en consecuencia, intensidad de los procesos de erosión y sedimentación. En la cuenca del río Segura, localizada en su mayor parte en un medio semiárido, el número de diques construido en todos los ríos y ramblas vertientes al cauce principal es muy elevado. En la actualidad, el número total estimado de diques en la cuenca del Segura es de unos 4.000. En los últimos años, con motivo del Plan de Defensa contra inundaciones en la Cuenca del Segura de 1987, se han construido 1.152 diques con un costo total de 14.195.659 Euros.

Los diques de corrección hidrológica, construidos de manera transversal a los cauces, tienen como finalidad principal retener sedimentos y controlar puntas de avenidas. Una vez construidos, estabilizan laderas, retienen acarreo, disminuyen la velocidad del agua y por tanto su capacidad erosiva, y finalmente reducen la cantidad de elementos sólidos que llegan a los embalses, retrasando su aterramiento y alargando la vida útil de estos (Romero Díaz *et al.*, 2004).

España, con un total de 1.401 presas (MMA, 2006), es el país europeo que cuenta con mayor número de embalses y el cuarto del mundo (WCD, 2000). No obstante, la importante inversión realizada en la construcción de estas presas tiene un enemigo implacable: los sedimentos erosionados en sus cuencas vertientes que se depositan en los vasos de los embalses, restándoles así capacidad. La pérdida media actual de capacidad estimada para los embalses españoles es del 10% o del 0,5 % al año (Avendaño *et al.*, 1997). Para evitar el aterramiento de los embalses es por lo que es necesaria la construcción de diques de corrección hidrológica que retengan sedimentos y que alarguen su vida útil.

La cuenca del Segura cuenta en la actualidad con 47 embalses, 14 de ellos de muy reciente construcción para defensa contra avenidas, pero los construidos a principios del

siglo XX tienen más del 40% de su vaso aterrado (Romero Díaz *et al.*, 1992; Sanz Montero *et al.*, 1998).

En uno de los principales afluentes de la cuenca del Segura, el río Quipar, se han construido 425 diques. La finalidad principal de estas obras de infraestructura ha sido evitar el aterramiento del embalse de Alfonso XIII, ubicado en la desembocadura del río, antes de su confluencia con el Segura. Dicho embalse con una capacidad de 42 hm³ en 1916 pasó a tener 14,2 hm³ en 1976. Con este motivo la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) realizó dos proyectos de corrección hidrológica en esta cuenca, el primero en 1962 (CHS 1962); y el segundo en 1996 (CHS 1996); en la actualidad, la CHS está llevando a cabo un tercer proyecto.

Todos los diques construidos en la cuenca del río Quipar han sido objeto de estudio en un proyecto de investigación, cuyos resultados más significativos se han publicado en Romero Díaz *et al.* (2007b).

El objetivo de este trabajo es evaluar el volumen de sedimentos retenidos en los vasos de cada uno de los diques y calcular tasas de erosión por diques, subcuencas y para la cuenca general del río Quipar, según una metodología diferente a las habituales de estimación de tasas: ecuaciones (como la USLE), batimetrías de embalses o mediciones directas de exportación de sedimentos en parcelas experimentales.

2. Área de estudio

El estudio se ha realizado en la cuenca del río Quipar, que es afluente del río Segura por su margen derecha y se sitúa en el centro occidental de la Región de Murcia (Fig. 1). La superficie de la cuenca es de 826 km². Las altitudes oscilan entre los 200 a los 1900 m, si bien, el 50% de su superficie se sitúa por encima de los 800 m. Los suelos más representativos son diferentes tipos de Regosoles, Leptosoles, Calcisoles y Fluvisoles.

Desde el punto de vista ambiental, hay tres parámetros importantes que influyen directamente en los procesos de erosión-sedimentación: (1) la litología, (2) la cubierta vegetal y (3) las características climáticas.

- (1) Las calizas y dolomías dominan la parte alta de la cuenca, mientras que en la parte media y baja predominan margas, margocalizas, yesos y formaciones cuaternarias. Los materiales más resistentes (areniscas, dolomías y calizas) representan el 26% de la superficie de la cuenca y el 74% restante está constituido por formaciones rocosas potencialmente más erosionables. De este porcentaje el 41% corresponde a margas, margo-calizas, margas y areniscas, el 17% son arenas, gravas y limos y el 16% restante arcillas y yesos.

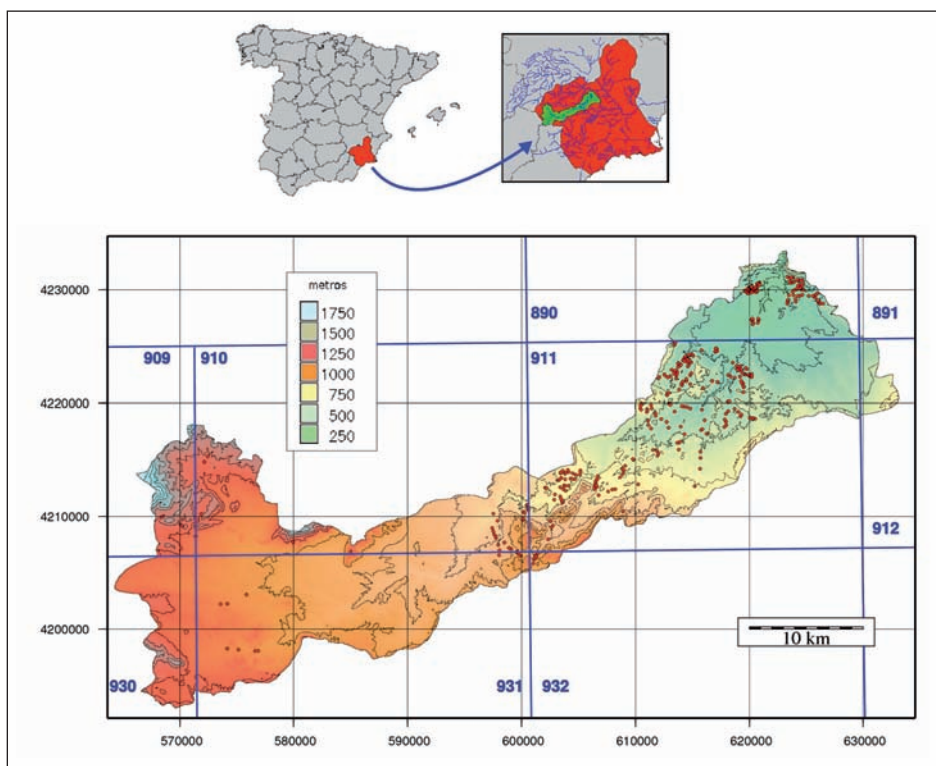


Figura 1. Localización de la cuenca del río Quipar y ubicación de los diques de corrección hidrológica

- (2) La cubierta vegetal, factor clave en la protección del suelo ante los procesos de erosión y que va a determinar la velocidad de colmatación de los diques, es escasa y está constituida principalmente en las áreas de cabecera por repoblaciones forestales de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y un sotobosque en el que figuran arbustos típicos del matorral mediterráneo como enebros (*Juniperus oxicedrus*), sabinas (*Juniperus sabina*), encina coscoja (*Quercus coccifera*), romero (*Rosmarinus officinalis*), jaras (*Cistus albidus*), esparto (*Stipa tenassissima*) y albardín (*Lygeum spartum*) entre diversas gramíneas de escasa cobertura. Utilizando la imagen del satélite Landsat 7, con resolución de celdas de 30 m, se ha realizado el mapa de usos del suelo de la cuenca. Desde el punto de vista del uso del suelo como factor de protección, se puede considerar como superficie más protegida la que tiene una cubierta de bosque y matorral denso, que representa un 20% de la superficie total. De protección media sería la superficie ocupada por bosque y matorral claro, con otro 20%, y el restante 60% de la superficie, ocupada principalmente por cultivos de secano herbáceo

y arbolado, sería el área que menos protección ejerce como cubierta vegetal del suelo (Romero Díaz *et al.*, 2007).

- (3) La precipitación media anual es de 287 mm en la parte baja de la cuenca y en torno a los 400 mm en cabecera, con una elevada irregularidad interanual (115 y 88 mm). Las temperaturas medias anuales varían entre los 12 y los 16° C. Según la clasificación de Turc, toda la cuenca posee un clima semiárido, en el que no están ausentes las precipitaciones de carácter intenso.

3. Metodología

Para la cuantificación del volumen de sedimentos acumulados en las cuñas de los sedimentos de los cauces y estimación de tasas de erosión ha sido necesario realizar diversos trabajos de gabinete y campo.

Los trabajos de gabinete han consistido fundamentalmente en:

- Análisis cartográficos de mapas existentes y elaboración de cartografía digital mediante digitalización de mapas topográficos.
- Delimitación de subcuencas y cuencas vertientes a cada dique.
- Elaboración de bases de datos.
- Análisis y tratamiento de datos.
- Elaboración de cartografía específica

De entre los trabajos de campo merecen citarse los siguientes:

- Localización, inventario y reconocimiento de los diques
- Medición de cuñas de sedimentos y obtención de otros datos necesarios para el cálculo del volumen de sedimentos acumulados.

3.1. Localización, inventario y reconocimiento del estado de los diques

Mediante trabajo de campo se ha constatado el estado actual de los diques y se han establecido tres categorías:

1. *Diques funcionales de 1962 y 1996.* Son aquellos que cumplen la función principal para la que fueron construidos, es decir, retener sedimentos y laminar caudales punta de avenidas (Fig. 2).



Figura 2. Dique construido en 1962, recreido en 1996 y en la actualidad funcional

2. *Diques colmatados de 1962*. Son los diques construidos en el Proyecto de Corrección Hidrológica de 1962 y que en la actualidad se encuentran totalmente colmatados, pero que conservan su estructura en buenas condiciones.
3. *Diques colmatados de 1996*. Son aquellos diques que han sido recreidos o construidos nuevos en el Proyecto de Corrección Hidrológica de 1996 y que en la actualidad ya se encuentran colmatados (Fig. 3).

Los diques colmatados, aunque ya no pueden seguir reteniendo sedimentos, sin embargo, los materiales acumulados en su cuña, sirven para estabilizar las laderas adyacentes, siempre que conserven su estructura.

3.2. Método de cálculo de tasas de erosión en diques

Mediante trabajos de campo se han localizado, observado y medido todos los diques construidos en la cuenca. En cada dique se han realizado medidas de sus dimensiones, altura de sedimentos (cuando el dique no estaba colmatado), y superficie de cuña de sedimentación. La altura total de los sedimentos se ha obtenido con las medidas de fábrica de los diques (CHS, 1962, 1992) y las realizadas en el campo.



Figura 3. Dique construido en 1962, recocado en 1996 y colmatado en la actualidad

La superficie de la cuña de sedimentos ha sido medida en el campo con GPS, modelo Garmin E-TREX, posicionando numerosos puntos de su perímetro. El cálculo del área se ha determinado introduciendo esos puntos en el ordenador y utilizando el software AUTOCAD 2002. Esta área se ha comparado con la superficie medida con cinta métrica, realizada dividiendo la cuña en secciones, y tomando como referencia los puntos donde se habían realizado las mediciones con GPS. A continuación, se calculó el área de cada sección, asimilándola a polígonos regulares, agregando posteriormente dichas áreas.

El cálculo del volumen de sedimentos retenidos tras el dique se ha realizado asociando el volumen con la figura geométrica más parecida a la forma tridimensional de los sedimentos acumulados en el dique, que parece ser en la mayoría de ellos, por las medidas realizadas en el campo, la de una pirámide de base trapezoidal en posición horizontal (Hernández Laguna *et al.*, 2004). No obstante, para aquellos diques cuya forma difería de la anterior se adoptó la de la figura geométrica más parecida, e incluso combinaciones de varias de ellas para adaptarla a la forma compleja de estas cuñas de sedimentos.

La formula utilizada para el cálculo del volumen de sedimentos en los diques ha sido la del volumen de la pirámide de base trapezoidal, delimitada por la superficie de los sedimentos sobre el dique.

$$V = 1/3 * B * H$$

Donde: V = Volumen de sedimentos, B = área de la base coincidente con el dique, H = longitud de la cuña de sedimentos.

4. Resultados y Discusión

4.1. Fecha de construcción y estado de los diques

Como ya se ha comentado, en la cuenca del río Quívar la CHS ha realizado dos Proyectos de Corrección Hidrológica en los años 1962 y 1996 (Tabla 1), diferenciando 6 subcuencas de actuación.

De los 425 diques construidos, en la actualidad: 191 diques son antiguos sin reparar (44,9%), 61 diques reparados (14,4%), 97 diques recrecidos (22,8%) y 76 diques son nuevos (17,9%). Es de destacar que el 50,2% de los diques construidos pertenecen a la subcuenca 6, la más cercana a la desembocadura, marcando una zona prioritaria de actuación para la CHS. En esta cuenca, predominantemente constituida por margas, arcillas y margocalizas, existe un desarrollo importante de cárcavas y barrancos.

Tabla 1. Diques construidos en la cuenca del río Quívar por subcuencas

Subcuenca	Construidos		Reparados		Recrecidos		Nuevos		Total	
	1962		1996		1996		1996		1962 y 1996	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1, 2, 3 (Cabecera)	0	0	0	0	0	0	13	100	13	3.0
4 (Tramo medio-alto)	38	44	13	15	20	23	16	18	87	20.5
5 (Tramo medio-bajo)	60	54	21	17	16	16	15	13	112	26.3
6 (Desembocadura)	93	44	27	12	61	29	32	15	213	50.2
Total Cuenca	191	44.9	61	14.4	97	22.8	76	17.9	425	100

Según el estado de funcionalidad de los diques, cabe destacar que de los 213 diques construidos en la subcuenca 6, 96 diques corresponden a la denominada “cuenca corta”, formada por 9 barrancos que vierten directamente en el vaso del embalse, estando en su mayoría colmatados.

En la totalidad de la cuenca del Quipar existen 47 diques que se han agrupado bajo el nombre de “sin dato”. Este grupo está formado principalmente por diques que no se pudieron localizar en el campo, ya sea por su difícil acceso, por encontrarse en el interior de fincas particulares con prohibición de paso o por no haberse construido. Estos diques representan el 11,4% del total de la cuenca del Quipar (Fig. 4).

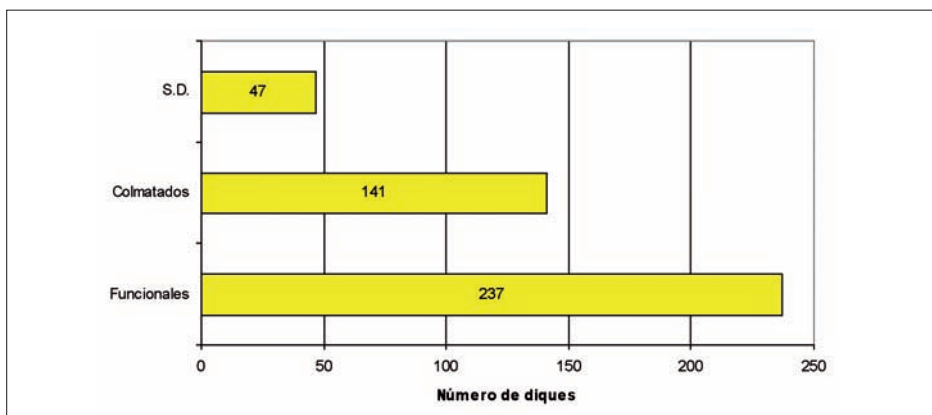


Figura 4. Estado actual de los diques en la cuenca del río Quipar

Los diques colmatados son 143 (33% del total), siendo la subcuenca 6 la que tiene mayor número de ellos (68) (tabla 2). Los diques funcionales son 237 (56% del total). Los diques antiguos colmatados están localizados predominantemente sobre litologías margosas y arcillosas, situados principalmente en la subcuenca 6, en los barrancos que vierten directamente al vaso del embalse (Fig. 5). En cuanto a los diques antiguos funcionales, se ha observado que están situados predominantemente sobre calizas y yesos, constituyendo un grupo de diques con apenas funcionalidad desde el punto de vista de retención de sedimentos, sin embargo pueden seguir siendo útiles hasta que conserven su estructura.

Tabla 2. Estado de funcionalidad de los diques para el conjunto total de la cuenca

	Construidos 1962		Reparados 1996		Recrecidos 1996		Construidos 1996		Total 1962+1996	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Nº de diques	191	45	58	14	100	24	76	18	425	100
Colmatados	73	51	3	2	53	37	14	10	143	33.6
Funcionales	73	31	55	23	47	20	62	26	237	55.8
Sin dato	45	100	0	0	0	0	0	0	45	10.6

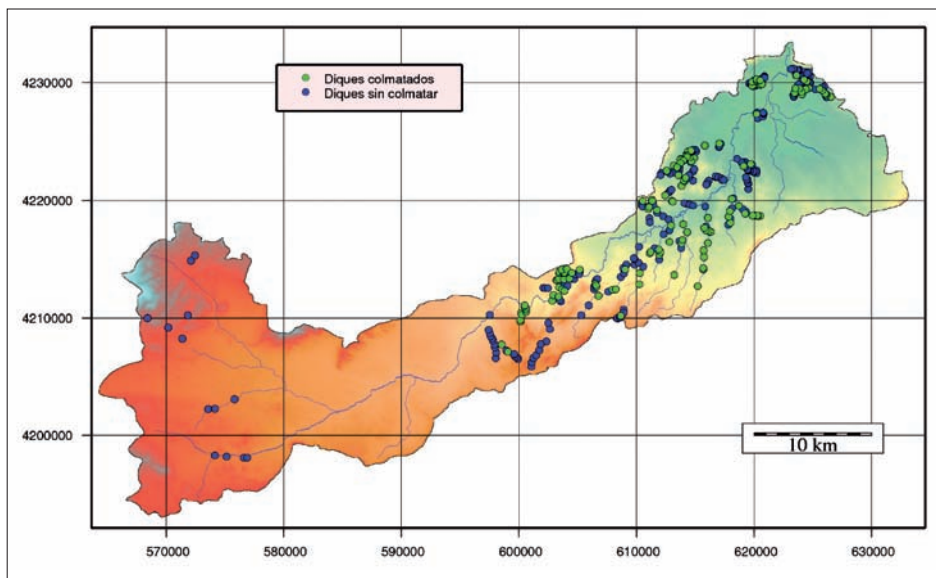


Figura 5. Diques colmatados y sin colmatar en la cuenca del río Quipar

4.2. Evaluación de los sedimentos retenidos en los diques. Tasas de erosión

Utilizando los registros sedimentarios de los diques, es posible cuantificar tasas de erosión de manera bastante fiable. Según esta metodología, para el cálculo de tasas de erosión es necesario conocer la superficie de cuenca vertiente al dique, las toneladas de sedimentos acumuladas y el periodo de tiempo de sedimentación. En todos los diques de los que se disponen los datos necesarios, se pueden calcular volúmenes, pero sólo se pueden calcular tasas en los diques no colmatados, de los que tenemos información de la fecha de su puesta en carga. En los diques colmatados no es posible calcular tasas puesto que no se conoce la fecha de colmatación. De los 425 diques construidos en la cuenca del Quipar, disponemos de datos necesarios para calcular tasas de erosión de 195 diques funcionales en la actualidad, que representan un 45,9% del total de diques.

El periodo de sedimentación, hasta la toma de datos, ha sido de 41 años en los diques construidos en 1962, y de 7 años en los diques reparados, recrecidos o construidos nuevos en 1996.

En los procesos de erosión-sedimentación tiene una gran importancia la litología, habiéndose observado como los diques construidos sobre margas y margocalizas presentan unas tasas de erosión muy altas llegando a colmatarse en pocos años. En el otro extremo se encuentran los diques construidos sobre calizas, con unas tasas de erosión y toneladas de sedimentos retenidos realmente bajas. En este sentido es posible cuestionar la correcta ubicación de algunos diques de no ser porque cumplen la función de laminación de caudales punta de avenidas, que en definitiva es un objetivo a cumplir por los

diques, aunque secundario en esta cuenca, al existir un embalse en su desembocadura. Los diques construidos sobre yesos tienen un comportamiento similar a los anteriores, con muy pocos sedimentos retenidos y tasas de sedimentación bajísimas, explicado por el hecho de que los sedimentos pueden pasar en disolución a través del cuerpo del dique. En cuanto a los diques construidos sobre conglomerados cuaternarios, aluviones y arenas, retienen gran cantidad de sedimentos y alcanzan unas tasas de sedimentación altas, aunque sin llegar a los valores de margas y margocalizas.

En el conjunto, si tenemos en cuenta las tasas medias obtenidas en los 195 diques funcionales, por subcuencas el valor medio más alto, 5,29 t/h/año, corresponde a la subcuenca 6, y el más bajo a la subcuenca 1,2,3 con 0,71 t/ha/año (Tabla 3). Las subcuencas 4 y 5 oscilan entre 3,39 y 2,64 t/ha/año. La tasa de erosión media de la cuenca del Quipar es de 3,95 t/ha/año, aunque este valor medio presenta una variabilidad muy alta (Fig. 6).

Tabla 3. Tasas de erosión por subcuencas

Subcuenca	Tasa erosión (t/ha/año)	Nº de Diques utilizados
1.2.3 (Cabecera)	0,71	13
4 (Tramo medio – alto)	3,39	44
5 (Tramo medio – bajo)	2,64	43
6 (Desembocadura)	5,29	95
Media	3,95	195

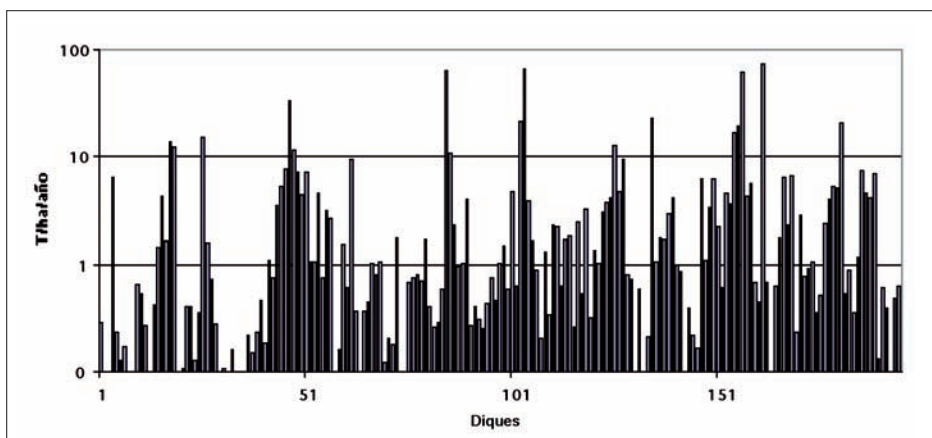


Figura 6. Tasas de erosión de los 195 diques estudiados

El 53% de los diques tiene una tasa de erosión muy baja (menor de 1 t/ha/año); el 30% tiene una tasa entre 1 y 5 t/ha/año; y tan sólo en el 8% de los diques se ha obtenido un valor superior a 10 t/ha/año (Tabla 4).

El volumen total de sedimentos depositado en los 378 diques, en los que se han podido cuantificar este parámetro, asciende a 687.416 toneladas. Teóricamente gran parte de estos sedimentos han dejado de llegar al embalse.

Tabla 4. Diques agrupados por tasas de erosión y algunas variables topográficas asociadas

Tasa de erosión (t/ha/año)	Diques		Tasa media de erosión	Superficie media cuenca (ha)	Pendiente media cauce (ha)	Coef.Corr. Erosión / Superficie	Coef.Corr. Erosión / Pendiente
	Nº	%					
< 1	104	53.3	0.37	137.1	4.00	-0.26	-0.02
1 - 5	59	30.3	2.49	50.05	4.29	-0.24	-0.14
5 - 10	16	8.2	6.78	14.29	3.80	0.07	-0.25
10 - 20	8	4.1	14.16	17.01	2.66	-0.53	0.80
> 20	8	4.1	45.29	17.63	2.66	-0.58	0.41
Total	195	100	3.95	90.86	3.96	-0.51	-0.78

Para tratar de dar explicación a las diferentes tasas de erosión obtenidas se han relacionado éstas con factores físicos como: la superficie de las cuencas vertientes al dique, la pendiente del cauce principal y la litología.

Los coeficientes de correlación muestran valores negativos con la superficie y la pendiente, lo que nos indica que a mayor superficie de cuenca y mayor pendiente las tasas de erosión son menores (Fig. 7 y 8). En el caso de la superficie el resultado era esperado, pero no en el caso de la pendiente ya que, por lo general, se asocia mayor pendiente a mayor erosión. No obstante, la correlación es más importante con la superficie que con la pendiente. Al calcular los coeficientes de correlación con los valores medios obtenidos por intervalos de tasas de erosión, los resultados son más significativos, obteniéndose un coeficiente de correlación de $-0,51$ entre erosión y superficie y de $-0,78$ entre erosión y pendiente.

Analizando la relación entre los logaritmos de la pendiente y la erosión (Fig. 7), aparecen coeficientes de regresión significativamente diferentes de cero en calizas, conglomerados y yesos. Por otra parte, en la relación entre los logaritmos del área de la cuenca y la erosión (Fig. 8), sólo aparecen coeficientes de regresión significativamente diferentes de cero en el caso de las margas y las calizas.

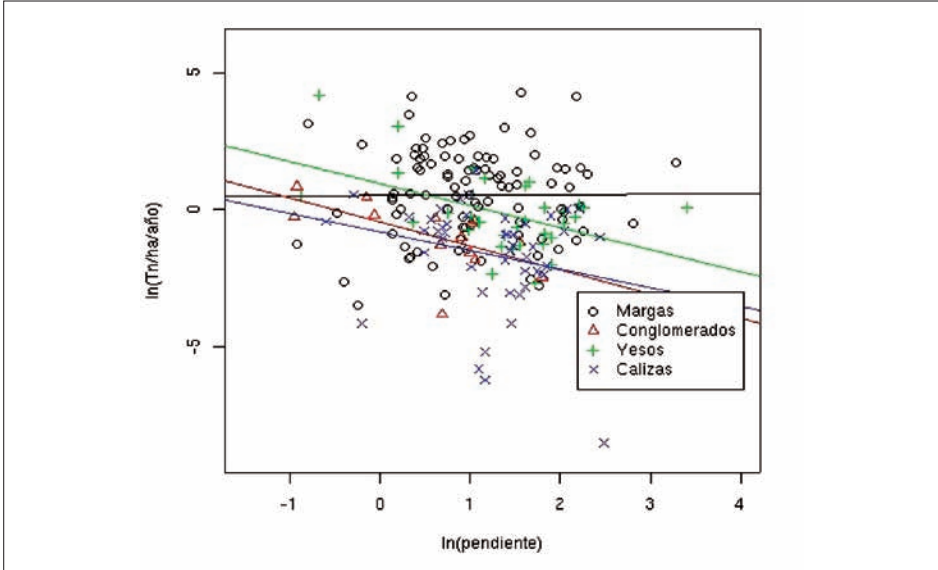


Figura 7. Relación entre tasas de erosión obtenidas en los diques y pendiente del cauce principal (%)

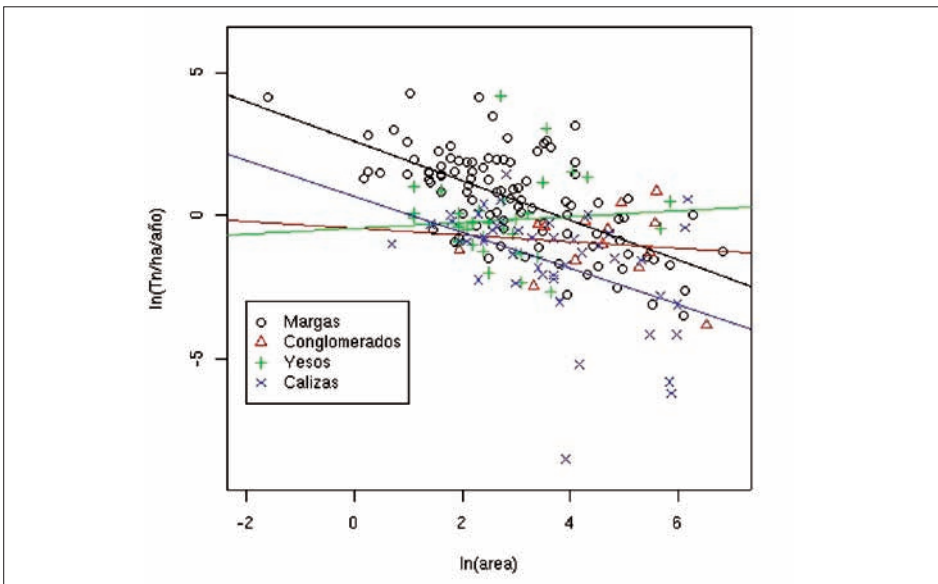


Figura 8. Relación entre tasas de erosión obtenidas en los diques y superficies de cuencas vertientes (has)

Las margas parecen ser lo suficientemente erosionables como para que la pendiente no sea un factor importante y exista erosión alta independientemente de ésta. En los otros casos, la explicación a este comportamiento anómalo puede ser la distribución de usos del suelo en función de la pendiente (vegetación natural en pendiente alta y cultivos en pendiente baja). Más significativos en relación con la superficie se encuentran las litologías margosas y calizas; y en relación con la pendiente con los grupos litológicos de conglomerados, yesos y calizas. La pendiente no es nada significativa en materiales de margas.

La litología parece tener una gran importancia, siendo el grupo de las margas el que tiene las mayores tasas de erosión y el grupo de las calizas las que posee las menores.

Es importante mencionar como la tasa de erosión obtenida mediante diques (3,95 t/ha/año) es bastante similar a la obtenida mediante técnicas batimétricas (3,67 t/ha/año). Es ligeramente inferior a los valores obtenidos siguiendo a Fournier (4,18 t/ha/año), pero difiere mucho de la calculada mediante la USLE, que en este caso se obtiene un valor 4,5 veces más elevado (17,9 t/ha/año) (Romero Díaz *et al.*, 2007a)

Creemos que la obtención de tasas mediante los sedimentos retenidos en los diques permite obtener valores más exactos para subcuencas y con ello, es posible, determinar mejor donde es necesario realizar actuaciones de conservación de suelos, corrección hidrológica, etc.

4.3. Vida útil de los diques

Una vez calculado el volumen, las toneladas de sedimentos retenidos y las tasas de erosión de los 195 diques de los que se disponen datos, se ha realizado una estimación de los años de vida útil que le quedan a cada dique y estos se han relacionado con el tipo de litología correspondiente (Tabla 5 y Figura 9).

El cálculo de la vida útil se ha realizado teniendo en cuenta las mismas condiciones de sedimentación actuales, desde la puesta en funcionamiento del dique, conocido el año de construcción, los sedimentos retenidos y la capacidad máxima de almacenamiento.

La litología se agrupó, en cuatro clases: 1, margas y margocalizas; 2, conglomerados cuaternarios, aluviones y arenas; 3, yesos; 4, calizas.

La cuarta parte de los diques funcionales en la actualidad en la cuenca del río Quípar sobre margas, margocalizas, conglomerados cuaternarios, aluviones y arenas estarán aterrados en tan solo 10 años.

El 90% de los diques sobre margas y margocalizas, y el 71% sobre conglomerados cuaternarios, aluviones y arenas lo estarán en un periodo de 30 años.

Por el contrario, el 70% de los diques construidos sobre yesos y calizas tienen un periodo de vida mucho más largo, siempre superior a los 30 años.

Tabla 5. Años de vida útil de los diques funcionales actuales

Litología	<10 Años Diques / %	10-30 Años Diques / %	30-100 Años Diques / %	>100 Años Diques / %	Total / %
1	16 / 53,5	43 / 50	7 / 9,9	0 / 0	66 / 33,8
2	11 / 36,6	19 / 22,1	12 / 16,9	0 / 0	42 / 21,6
3	2 / 6,6	8 / 9,3	23 / 32,5	1 / 12,5	34 / 17,4
4	1 / 3,3	16 / 19,6	29 / 40,8	7 / 87,5	53 / 27,2
Total	30 / 15,4	86 / 44,1	71 / 36,4	8 / 4,1	195 / 100

Es de destacar como el 13% de los diques sobre calizas no es probable que se colmaten ni en 100 años (Fig. 9).

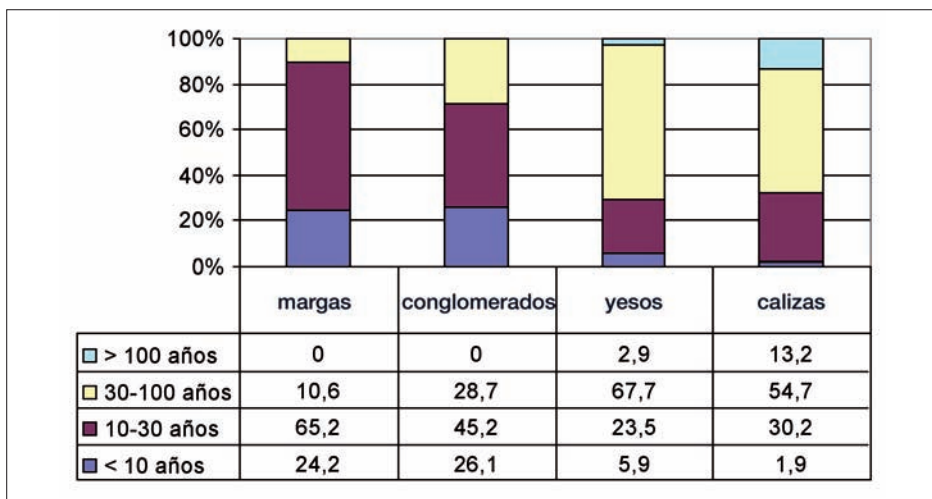


Figura 9. Vida útil de los diques funcionales existentes en la cuenca del río Quipar

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran como los sedimentos retenidos en los diques de corrección hidrológica son una magnífica fuente de datos para poderla usar en la cuantificación de tasas de erosión.

Se constata la influencia de distintos parámetros en la mayor o menor sedimentación que contienen los diferentes diques (superficie de cuenca, pendiente del cauce prin-

cial o litología). Destaca la litología como la responsable directa del mayor o menor grado de aterramiento y en definitiva de la pérdida de funcionalidad de estas construcciones. Las cuencas vertientes a los diques, predominantemente margosas, tienen elevadas tasas de sedimentación y, por tanto, una disminución de su vida útil muy rápida; por el contrario, los diques ubicados en cuencas con una abundancia de calizas presentan muy bajas tasas de erosión y una larga vida útil.

Por ello, como la finalidad principal de los diques es retener sedimentos (en aquellos lugares en donde están más disponibles) y evitar que lleguen a los embalses a los que protegen, su ubicación debe proyectarse, preferentemente, en aquellas áreas más deleznable, como es el caso de margas y arcillas, aunque su vida útil sea tan sólo de unos cuantos años.

Las cuencas vertientes a los 195 diques a los que se les ha podido calcular su tasa de erosión muestran una variabilidad muy alta. El 53% de los diques tiene una tasa de erosión menor de 1 t/ha/año, el 30% entre 1 y 5 t/ha/año y tan sólo el 17% restante tiene tasas superiores a 5 t/ha/año. La tasa de erosión media para el conjunto de los diques (que se encuentran repartidos por toda la cuenca) es de 4 t/ha/año. Este valor medio es muy similar a la tasa obtenida mediante las batimetrías, realizadas en el embalse de Alfonso XIII construido en la desembocadura de la cuenca, pero 4,5 veces inferior a la tasa obtenida mediante la USLE. Usando la metodología de los diques para el cálculo de tasas se pone de manifiesto, una vez más, como los valores que nos aporta la ecuación de la USLE son muy superiores a los que realmente existen en las áreas semiáridas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación REN2002-03426/HID, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, y fondos FEDER. A ellos nuestro agradecimiento.

Referencias bibliográficas

- AVEDAÑO SALAS, C., SANZ MONTERO, E., COBO RAYÁN, R. y GÓMEZ MONTAÑA, J.L. (1997). Sediment yield at Spanish reservoirs and its relationship with the drainage basin area. *Dix-neuvième Congrès des Grands Barrages*, 863-874. Commission Internationale des Grands Barrages. Florence.
- CHS (1962). *Proyecto de Corrección Hidrológica para la protección del Embalse de Alfonso XIII*. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Segura.
- CHS (1992). *Proyecto de Corrección Hidrológica de las cuencas de Alfonso XIII y del Cárcavo*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

- HERNÁNDEZ LAGUNA, E., MARTÍNEZ LLORIS, M. y ROMERO DÍAZ, A. (2004). *Determinación del volumen de sedimentos retenidos en diques de corrección hidrológica*. En *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología* (Benito, G y Díez Herrero, A., Eds.), SEG y CSIC, Vol II: 201-210. Toledo.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A., FERNÁNDEZ DE VILLARA, R., SESEÑA RENGEL, A., MÉNDEZ CARVAJAL, C., DÍEZ HERNÁNDEZ, J.M., NAVARRI HEVÍA, J. y VARELA NIETO, J.M. (2002). Metodología para la inventariación de diques forestales gavionados. Aplicación en la provincia de Palencia. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencia Forestal*, 13: 171-181.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (MMA) (2006). *Restauración hidrológico forestal. Conservación de la Naturaleza, Acciones*. En: http://www.mma.es/conserv_nat/acciones-/restaur_hidro/rest_hidro.htm.
- ROMERO DÍAZ, A., CABEZAS, F. y LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1992). Erosion and fluvial sedimentation in the river Segura basin (Spain). *Catena*, 19: 379-392.
- ROMERO DÍAZ, A., MARTÍNEZ LLORIS, M., y BELMONTE SERRATO, F. (2004b). The construction of dikes of hydrological correction as policy to retain the erosion and to avoid the silting up of dams in the Segura basin (Spain). En *Fourth International Conference on Land Degradation*. (Faz, A., Ortiz, R. y García, G., Eds.). Publicación en Cd.
- ROMERO DÍAZ, A., ALONSO SARRIA, F. y MARTÍNEZ LLORIS, M. (2007a). Erosión rates obtained from check-dam sedimentation (SE Spain). A multi-method comparison. *Catena*, 71: 172-178.
- ROMERO DÍAZ, A., MARTÍNEZ LLORIS, M., ALONSO SARRIA, F., BELMONTE SERRATO, F., MARÍN SANLEANDRO, P., ORTÍZ SILLA, R., RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. y SÁNCHEZ TORIBIO, M.I. (2007b). *Los diques de corrección hidrológica. Cuenca del Río Quípar (Sureste de España)*. Ediciones de la Universidad de Murcia, 270 pp., Murcia.
- SANZ MONTERO, M.E., AVENDAÑO, C., COBO, R. y GÓMEZ, J.L. (1998). Determinación de la erosión en la Cuenca del Segura a partir de los sedimentos acumulados en sus embalses. *Geogaceta* 23: 135-138.
- VARELA NIETO, J.M. (Dir) (1999). *Inventario de obras de corrección hidrológica-forestal y de las variables ambientales relacionadas con las mismas*. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. Dirección General de Obras Hidráulicas.
- WORLD COMMISSION ON DAMS (WCD) (2000). *Dams and development: A new framework for decision-making*. Earthscan Publication Ltd., London.

