

LOS DIQUES DE RETENCIÓN EN CUENCAS DE RÉGIMEN TORRENCIAL: DISEÑO, TIPOS Y FUNCIONES

Carmelo Conesa García
Universidad de Murcia

RESUMEN

Los diques de retención juegan un papel fundamental en la planificación hidrológico forestal de las cuencas de régimen torrencial. Sin embargo su efectividad depende de gran número de factores relacionados con el funcionamiento de la cuenca y del sistema fluvial en que se ubican. Analizar su tipología de acuerdo con sus características estructurales, materiales de construcción y funciones ha sido el objetivo principal de este artículo. Tras adelantar unas breves consideraciones sobre el estado actual de la investigación existente al respecto, se indican algunos de los criterios de diseño y tipos de diques más utilizados: diques permanentes y temporales, diques cerrados y abiertos, diques de gravedad de mampostería hidráulica y hormigón, de mampostería gavionada y de materiales sueltos. A continuación se analiza la funcionalidad de estos diques en relación con diversos aspectos: reajuste de la pendiente de equilibrio del lecho, control de la erosión, recarga de acuíferos, laminación del caudal pico, etc. Y finalmente, se alude a la necesidad de combinar las actuaciones en los cauces (obras de ingeniería) con un conjunto de acciones de carácter biológico-forestales que permitan regularizar el sistema.

Palabras clave: diques de retención, cuenca de régimen torrencial, control de erosión, tipos de diques, funciones, efectividad, planificación hidrológico forestal.

ABSTRACT

The check dams play a fundamental role in the forest hydrology planning of the torrential basins. Nevertheless its efficiency depends on great number of factors related to the functioning of the basin and fluvial system in which they are located.

To analyze its typology according to structural, material characteristics of construction and functions has been the principal aim of this paper. After advancing a few brief considerations on the current state of the existing research in the matter, criteria of design and types of most used check dams are indicated: permanent and temporary dikes, closed and opened dikes, gravit dikes of hydraulic masonry and concrete, of masonry with gabions and of non-cohesive materials. The functionality of these check dams is also analyzed in relation to several aspects: Adjustment of the equilibrium bed slope, control of the erosion, recharges of aquiferous, lamination of the peak flow, etc. And finally, we allude to the need to combine the performances in the riverbeds (works of engineering) with a set of biological - forest actions that allow to regularize the system.

Key words: check dams, torrential basins, control of the erosion, types of check dams, functions, effectiveness, forest hydrology planning.

INTRODUCCIÓN

Los diques de retención de sedimentos constituyen hoy día una práctica habitualmente contemplada en los planes y programas de restauración hidrológico-forestal. Se trata de estructuras transversales que no ejercen la función de embalsar agua para su posterior regulación, sino que responden a un amplio conjunto de problemas asociados a la estabilidad de laderas y cauces torrenciales (barranqueras, barrancos, torrentes, ramblizos,...), la captura de material sólido, la laminación de las aguas de avenida y la recarga de acuíferos.

Todas estas funciones hacen de ellos un instrumento en potencia muy eficaz para la planificación de los riesgos hidrológicos, la conservación del suelo y la lucha contra la erosión. Sin embargo, su efectividad como elemento estratégico en la gestión de los espacios forestales y de mitigación de peligros y procesos de riesgos naturales (erosión y degradación de suelos en zonas de cabecera, desbordamientos e inundaciones en los tramos bajos) depende de múltiples factores: dimensionamiento hidráulico de la estructura en función del área vertiente, condiciones de ubicación, conocimiento de las características ambientales de la cuenca y de las variables geomorfológicas del curso (pendiente de equilibrio del cauce, granulometría del lecho,...), índice de estabilidad de la corriente, diseño del dique en relación con el tipo de utilidad deseada, normativa de cálculo según el dimensionado estático de la obra, etc.

Por otra parte, el nivel de eficacia de este tipo de infraestructura puede variar sustancialmente de acuerdo con el grado y naturaleza de su integración en una política de actuación hidrológico-forestal más amplia, que incorpore, junto con las medidas estructurales activas (reforestación, sistemas de drenaje) y pasivas (estabilización de vertientes, diques de retención), otras medidas no estructurales como la elaboración de cartografía de riesgos, planes de prevención de incendios, etc.

ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN ACTUAL

Un impulso importante a la investigación reciente sobre el tema se debe a la reunión del Grupo de Trabajo sobre Ordenación de Cuencas Hidrográficas (Comisión Forestal Europea) celebrada en Rumanía en 1967. En ella se abordó el estudio de los factores físicos y técnicas de ordenación de cuencas para el control de las inundaciones. Pero, a pesar de los abundantes datos experimentales disponibles, merced a las experiencias desarrolladas en EEUU, Alemania, Suiza, Francia e Italia respecto a los efectos de las presas de contención y los de corrección de torrentes, no fue posible realizar una evaluación cuantitativa satisfactoria de los resultados conseguidos con dichas obras. A partir de los años setenta del siglo anterior, y con mayor insistencia desde los ochenta, empiezan a aparecer trabajos de diversa índole, que tratan sobre los efectos medioambientales de las presas (CHIUN, 1985). Sin embargo, la mayor parte de la investigación sobre el impacto de las presas sobre el medio físico se centra en las influencias de grandes presas y embalses; y, en cambio, se presta menor atención a los efectos y eficiencia de los diques pequeños de retención. Estos diques se construyen generalmente en cuencas de orden bajo, en la parte alta de la red fluvial, pero, como en el resto de estructuras de control de la erosión, no siempre resultan efectivos o necesarios (MARSTON y DOLAN, 1999).

Desde un punto de vista geomorfológico las contribuciones realizadas hasta el momento son muy variadas y en muchos casos aportan una visión descriptiva de los cambios de formas debidas a actuaciones de restauración. En otros, los más recientes, ha ganado interés el estudio de los procesos y la evaluación de la erosión y la sedimentación, siendo frecuentes los ejemplos de trabajos, sobre todo anglosajones, referidos a los efectos de las alteraciones de la cubierta vegetal en la producción de escorrentía y sedimentos (OLIVE y OLLEY, 1997) o a la influencia de las restauraciones forestales en los ajustes morfológicos de los cauces (BENDA *et al.*, 2002; GRANT y HAYES, 2002). No menos interés tienen los estudios que, aun no haciendo referencia expresa al papel de los diques de contención, aportan una valiosa metodología para analizar la dinámica sedimentaria en cauces con represamientos naturales. Éste es el caso del artículo de POLLOCK *et al.*, (2002) sobre efectos sedimentarios causados por obstrucciones naturales (maderos, '*debris flows*',...) en pequeños cauces torrenciales. También es de destacar el análisis de los riesgos potenciales que entrañan estas obras de corrección, sobre todo en áreas especialmente vulnerables (GARCÍA RUIZ *et al.*, 1996; GÖTZ, 2001).

Hasta el momento, las líneas de investigación emprendidas en España, en relación con las propuestas de restauración hidrológico-forestal, han estado más centradas en las consecuencias previsibles de la repoblación y mejora de la cubierta vegetal que en los impactos provocados por las medidas estructurales de corrección hidrológica. Sólo algunas iniciativas particulares (GARCÍA RUIZ y PUIGDEFÁBREGAS, 1984; MARTÍN ROSALES, 1997) y proyectos de investigación (VARELA NIETO *et al.*, 1997-99, proyecto financiado por el CEDEX) ofrecen estudios de detalle sobre la eficacia de las obras de corrección hidrológica en el control de caudales y estabilización de cauces. El primero analiza los efectos geomorfológicos producidos por pequeñas presas de retención construidas en ríos anastomosados del flysch eoceno pirenaico. La tesis doctoral de MARTÍN ROSALES (1997), 'Efectos de los diques de retención en el borde meridional de

la Sierra de Gádor (Almería)', constituye, sin lugar a dudas, una excelente referencia, por cuanto dedica un amplio capítulo a la cuantificación de la recarga hídrica inducida por las citadas presas de retención. Finalmente, el proyecto coordinado por VARELA (1997-99) ofrece una valiosa información sobre obras de corrección en cauces torrenciales, situados en la cuenca del río Carrión (Confederación Hidrográfica del Duero), Alanzora (Confederación Hidrográfica del Sur de España) y Guadiana Menor (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), y las variables ambientales afectadas por aquéllas.

CRITERIOS DE DISEÑO Y TIPOS DE DIQUES DE RETENCIÓN

Los diques de retención pueden construirse con roca, sacos de tierra y grava, leños u hormigón. Tras su instalación proporcionan un receptáculo inmediatamente aguas arriba, en el que se acumulará agua y sedimentos durante cada avenida. En una secuencia de diques consecutivos, se recomienda que el centro de la coronación del dique situado aguas abajo se halle al mismo nivel que el centro del pie de la estructura inmediata aguas arriba. El espaciamiento entre diques puede calcularse dividiendo la altura de los diques por la pendiente expresada en tantos por ciento.

Cuadro 1. Espaciamiento entre diques según la pendiente longitudinal del cauce

| Pendiente (%) | Espaciamiento (m) |
|---------------|-------------------|
| 1 | 200 |
| 2 | 100 |
| 4 | 50 |
| 6 | 33 |
| 8 | 25 |
| 10 | 20 |

Fuente: Minnesota Pollution Control Agency (MPCA), 2000.

Quando las corrientes transportan gran cantidad de material sólido, sobre todo carga tractiva (p.e. '*debris flows*'), el diseño de estos diques puede complicarse considerablemente. Durante las últimas décadas las comunidades de científicos e ingenieros han dedicado un notorio esfuerzo en el diseño de dispositivos propios capaces de capturar buena parte de acarreo '*debris flows*' y/o disminuir sustancialmente su energía. Existe un amplio número de trabajos teóricos y prácticos sobre el tamaño, forma y estructura del tipo de diques más conveniente para ello, y que, por tanto, permiten definir unos criterios generales de diseño de los mismos (REMAÎTRE *et al.*, 2004).

Diques de retención permanentes

Siendo la presa una estructura hidráulica, los distintos tipos posibles responden a las variadas formas de lograr las dos exigencias funcionales: resistir el empuje del agua y evacuar los caudales sobrantes.

En cada caso, la importancia relativa de estas dos premisas, junto con las condiciones naturales del terreno (topográficas y geológicas) y las exigencias del uso del agua

(situación de la central eléctrica, toma de riegos...) originan una serie de condicionantes que llevan a la elección de un tipo de presa como más adecuado.

- *En cuanto a la situación del aliviadero*, éste puede estar: i) sobre la misma presa (presas vertedero), o ii) separado de ella. En el primer caso, la estructura está directamente condicionada por el aliviadero; en el segundo, la estructura puede proyectarse con total independencia de aquél.

- Respecto a la *forma de resistir el empuje hidrostático*, las presas pueden ser principalmente: de gravedad, en arco y arco-gravedad.

En las *presas de gravedad* el peso de la estructura es notable y sirve para, al componerse con el empuje, dar una resultante adecuada y francamente interior a la base de la presa. Estas presas pueden ser, a su vez, macizas o aligeradas. Las segundas pretenden emplear menos material. El aligeramiento puede consistir en galerías horizontales o, más frecuentemente, en huecos verticales, quedando constituida la presa por una serie de contrafuertes resistentes por su peso en los que se apoya o va unida a una pantalla que transmite a ellos el empuje del agua.

Las *presas en arco* presentan una forma curva, que tiene por finalidad transmitir el empuje al terreno en dirección e intensidad adecuadas. Pueden tener curvatura sólo horizontal o doble curvatura (presas bóvedas o cúpulas), que es lo más normal. Suponen una importante reducción del volumen de fábrica (1/2 a 1/3 del equivalente en diques de gravedad) y gran seguridad. Suelen ser especialmente efectivas en cauces torrenciales de cerradas estrechas con buena cimentación en todo su perímetro.

Hay un tipo mixto, llamado de bóvedas múltiples, constituido por una serie de contrafuertes que resisten por gravedad el empuje hidrostático que les transmiten unas bóvedas en contacto directo con el agua.

También hay un tipo intermedio entre las presas arco y de gravedad que se llama arco-gravedad. En éste, la acción de la curvatura es insuficiente para resistir el empuje y hay que dar a la presa un cierto peso para que compense ese defecto.

En atención al material empleado, se clasifican en: presas de fábrica y presas de materiales sueltos.

Entre las presas de fábrica hoy día son muy comunes las de mampostería y las de hormigón.

La subclasificación de las presas de materiales sueltos se hace atendiendo a la posición de la pantalla impermeabilizadora, que puede ser interior o agua arriba; a su vez, esta pantalla puede ser de tierra, bituminosa o de hormigón armado, siendo más usada la primera, por ser más homogénea con el resto de la estructura.

Las presas de materiales sueltos resisten siempre por gravedad. En cuanto al aliviadero, las presas de materiales sueltos lo suelen tener aparte.

Diques de mampostería con gaviones

En este tipo de diques juega un papel importante el peso específico de los materiales que lo componen y de los gaviones en su conjunto. Cuando el gavión no está en carga hidráulica el aire ocupa los huecos o vacíos entre mampuestos, presentando su peso específico seco, γ_s :

$$\gamma_s = \gamma_s (1 - k)$$

siendo k la porosidad del gavión o cociente resultante de dividir su peso por su volumen. Conforme el gavión entra en carga los huecos son ocupados por el agua llena de suspensiones, alcanzando el estado de saturación y su máximo peso específico ($\gamma_{saturado}$):

$$\gamma_{saturado} = \gamma_s + k \cdot \gamma = \gamma_s (1 - k) + k \cdot \gamma$$

donde γ es el peso específico del agua. Cuando el agua rebasa el nivel del vertedero, éste queda sumergido mientras son evacuados los caudales de avenida, debiendo considerarse entonces el peso específico sumergido, γ'_s :

$$\gamma'_s = \gamma_{saturado} - \gamma = \gamma_s (1 - k) + (k - 1) \cdot \gamma$$

Se demuestra así que la parte más vulnerable de este tipo de diques es el cuerpo central sobre el que se halla el vertedero, donde el peso específico sumergido es aproximadamente la mitad del peso relativo del mampuesto.

Diques de gravedad de mampostería hidráulica y hormigón (< 15 m)

El dique de hormigón o mampostería hidráulica más comunmente empleado en trabajos hidrológico-forestales consta de un cuerpo central y dos alas (TRAGSA – TRAGSATEC, 1998). El cuerpo central es un trapecio de talud vertical aguas arriba, e inclinado aguas abajo. En las alas se superpone a este trapecio un rectángulo, cuya base es la coronación del cuerpo central y altura igual a la de la forma del vertedero. En cauces de pendientes muy acusadas (> 15 %) puede resultar más económico el empleo del perfil trapecial con paramento abajo vertical.

Diques de retención temporales

Son diques transversales construidos con carácter temporal en cunetas y cauces pequeños. Tienen como finalidad disminuir la velocidad de la escorrentía concentrada generada por lluvias torrenciales, pero tienen escasa capacidad para albergar sedimentos. Por lo general se utilizan en cauces abiertos de tamaño reducido que drenan una superficie inferior a 0,5 has. Su aplicación más usual tiene lugar en pequeñas vaguadas o barranqueras que no pueden ser objeto de un revestimiento permanente y necesitan cierta protección contra la erosión.

Estos diques pueden construirse con piedras, maderos o balas de paja. Los diques de maderos son relativamente económicos debido al bajo coste del material empleado (los maderos pueden obtenerse incluso a partir de operaciones de clareo en lugares próximos), aunque requieren más tiempo y mano de obra en su instalación. Los diques de piedra suelen tener forma triangular y pueden estar recubiertos o no por una malla geotextil. El coste más elevado de los materiales utilizados en este tipo de diques resulta generalmente compensado por su sencilla colocación y mantenimiento. Una vez fitoestabilizado el talweg mediante medidas biotécnicas de restauración, estos diques se desmantelan

procurando no dejar bloques que puedan ser transportados aguas abajo, en el caso de las estructuras de piedra, y alterando lo menos posible el lecho al desanclar los maderos, en el segundo caso.

Los diques de balas de paja constituyen barreras de sedimentos temporales construidas con balas de paja en sentido transversal a sectores de drenaje muy pequeños. Este tipo de estructura suele emplearse para reducir la velocidad y energía de corrientes de derrubios esporádicas (*debris flows*). No son practicables en cursos de agua permanentes (arroyos, riachuelos, ríos), ni tampoco resultan eficaces para controlar coladas de derrubios en vertientes empinadas.

Cuadro 2. Umbrales establecidos para la ubicación de diques de balas de paja.

| Pendiente (%) | Área máx. de drenaje entre diques (m ²) | Longitud máx. de la pendiente (m) |
|---------------|---|-----------------------------------|
| 0-15 | 4000 | 60 |
| 15-20 | 2000 | 30 |
| > 20 | no recomendado | |

Fuente: *U.S. Department of Agriculture (USDA) (2003).*

Por lo general constan de dos filas de balas atadas con alambre o cuerdas de nylon. La fila situada más abajo en el sentido de la corriente queda totalmente enterrada, presentando su parte superior enrasada con el terreno, mientras que la segunda fila, aguas arriba y colindante con la anterior, está anclada en el lecho al menos 15 cm (MnDOT, 2000).

FUNCIONALIDAD DE LOS DIQUES DE RETENCIÓN

Los diques de retención son pequeñas presas construidas en sentido transversal al cauce, que tienen como funciones principales reducir la velocidad de la escorrentía concentrada, aumentar la capacidad de infiltración del lecho y disminuir, por tanto, la erosión de los cursos de agua torrenciales en los que se ubican, especialmente torrentes y barrancos con escaso o nulo revestimiento vegetal. Este tipo de estructuras no sólo amortigua la erosión del cauce antes del establecimiento de la vegetación, sino que también permite retener importantes cantidades de sedimentos, que, una vez consolidados, pueden dotarles de una menor pendiente longitudinal y un carácter más estable.

Funcionalidad asociada a la reducción de la pendiente

La pendiente global adquirida con la construcción de los diques es una función lineal del número de diques de retención. Si la coronación del dique situado aguas abajo y el pie del anterior aguas arriba están a la misma cota, el lecho del cauce aparece más o menos nivelado, consiguiéndose entonces la máxima regulación de la pendiente.

El número de diques a lo largo de un curso necesarios para reducir la pendiente es también una función de la pendiente original, la longitud del cauce y la altura de los diques:

$$N_{dr} = (S_1 - S_2) \cdot L / H$$

Siendo N_{dr} el número de diques de retención, S_1 la pendiente original (%), S_2 la pendiente resultante (%), L la longitud del cauce (m) y H la altura de la estructura (m). Según esta sencilla ecuación, para obtener una misma pendiente final con estructuras de $H/2$ se requiere el doble de diques, y, viceversa, si se duplica la altura de los diques su número se reducirá a la mitad. En este último caso la estructura necesita mayor cantidad de material para mantener su estabilidad. La altura y el incremento de material necesario no son linealmente proporcionales, debido a que las dos fuerzas principales que actúan sobre los diques son proporcionales a la segunda potencia de la altura. Considerando este tipo de fuerzas, ROSHANI (2003) distingue dos clases de diques con gaviones (cuadro 3). Puede observarse que el volumen de material requerido por metro de anchura unitaria del cauce en diques de 1,5 m de altura es alrededor de un tercio del correspondiente a diques de 3 m.

Cuadro 3. Tipos de diques con gaviones según características geométricas y material requerido

| Tipo de dique | Altura (m) | Anchura corona (m) | Anchura base (m) | Material requerido (m ³ /m) |
|---------------|------------|--------------------|------------------|--|
| Tipo 1 | 1,5 | 2 | 4,0 | 6,750 |
| Tipo 2 | 3,0 | 3 | 6,5 | 21,375 |

Incremento de la capacidad de infiltración

Los diques permiten acumular agua tras ellos. Incluso a medida que se rellenan de sedimentos, éstos pueden saturarse de agua en determinadas avenidas. En situaciones de corriente baja, el terreno tiende a encharcarse inmediatamente aguas arriba de la presa, e incluso aguas abajo en sectores de poza creados por erosión local, aumentando así el tiempo de infiltración y de evaporación.

En la región mediterránea existe gran número de diques de retención ubicados sobre terrenos permeables, que favorecen los procesos de percolación e infiltración, incluso en áreas de fuerte pendiente. Un claro ejemplo lo constituye el macizo carbonatado de la Sierra de Gádor, área de recarga natural de los sistemas acuíferos de Campo de Dalias y del Bajo Andarax (Almería). La construcción de diques en los sectores más permeables de esta sierra ha producido un aumento de la infiltración del agua de escorrentía al quedar ésta eventualmente retenida en sus vasos, lo que supone una importante aportación de recursos hídricos a dichos acuíferos (PULIDO BOSCH *et al.*, 1992).

Disminución del caudal pico

ROSHANI (2003) ha aplicado en la cuenca del Kan (Irán) un método de decisión multicriterio mediante el programa DEFINITE (*Decisions on a Finite Set of Alternatives*), con el fin de evaluar los efectos de los diques de retención en los caudales pico. En este caso, el análisis multicriterio se basa en cuatro factores principales: i) número de diques, ii)

altura de los diques, iii) coste de cada opción, y iv) índice de reducción de la avenida. Para comprobar la bondad de los resultados se utiliza el método de máxima estandarización y el análisis de sensibilidad. Este autor ha comprobado que la mayor reducción del caudal punta en la desembocadura de la cuenca (31 por ciento) se debe a la construcción de diques en el alto Rendam, uno de sus principales tributarios, cuya pendiente media ha pasado de 9,6 a 2 por ciento. Como conclusión general de este estudio destaca la necesidad de centrar la planificación de la cuenca y las medidas de control de avenidas en las subcuencas más alejadas de la desembocadura principal. Las ondas de avenida procedentes de las subcuencas más distanciadas llegan a la desembocadura de la cuenca después de haber sido laminados los picos de corriente de los tributarios más cercanos. La instalación de diques transversales y la adopción de medidas no estructurales se imponen por tanto especialmente en las subcuencas de los tramos altos más alejados que presentan un elevado coeficiente de escorrentía.

Otro excelente ejemplo de efectividad de los diques de retención en la laminación de las ondas de avenida lo constituye el Bajo Shivaliks, en la India. En su cuenca vertiente se han construido 180 pequeños diques que son capaces de retener una tercera parte de las aguas correspondientes a la capacidad máxima del Lago Sukhna (14 millones de m³), situado inmediatamente aguas abajo (BANERJEE, 2004).

Efectividad en el control de la erosión

Los diques de retención proporcionan una sujeción relativamente buena de los sedimentos de tamaño medio y grueso transportados por la corriente. Sin embargo, los limos finos y las partículas de arcilla pueden pasar sobre o a través de los huecos de las estructuras. Los diques de retención de mampostería, cemento u hormigón proporcionan varias ventajas en relación con los diques de maderos o balas de paja sujetas por estacas clavadas, ya que requieren un menor mantenimiento, son efectivos en situaciones de flujo medio a intenso y pueden constituir una medida estructural permanente de control de la erosión. En el caso de los diques temporales construidos con balas de paja o leños se recomienda dejar una poza poco profunda aguas arriba de la presa, con el fin de conseguir un almacenaje adicional de sedimentos y aumentar así su efectividad. Las balas de heno han demostrado, no obstante, ser ineficaces en áreas vertientes de más de 0,5 ha y en cauces con pendiente superior al 20 por ciento (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2003).

Por su parte, las “envolturas o redes” utilizadas en el control de la erosión (cubiertas biodegradables, tejidos abiertos,...) proporcionan estabilidad al suelo y suelen ser suficientemente porosas para facilitar el crecimiento de la vegetación. Su uso combinado con los diques de retención se recomienda por lo general en áreas con corrientes y lluvias torrenciales.

Los diques de mampostería y hormigón son muy utilizados en la región mediterránea. Dentro de este ámbito, MARTÍN ROSALES *et al.* (2003) han puesto de manifiesto la efectividad de este tipo de estructuras en cuencas torrenciales de régimen semiárido, no sólo como medida de control de la erosión sino también como instrumento para reconstruir la historia sedimentaria y estimar la erosión hídrica de estas áreas. Por una parte, la construcción de diques de transversales en el cauce puede ser muy eficaz para la retención de sedimentos y la regulación de avenidas, como se ha constatado en el borde

meridional de la Sierra de Gádor (MARTÍN ROSALES, 1997). Por otra, produce en el lecho fluvial importantes efectos morfológicos y granulométricos que modifican las condiciones hidráulicas del flujo de avenida (CONESA GARCÍA *et al.*, 2004). Y al mismo tiempo ofrece la oportunidad de hacer un seguimiento de las fases de relleno, evaluar la erosión y estimar las tasas de producción de sedimentos aguas arriba.

Para que un dique mantenga su función de trampa de sedimentos es preciso que la capacidad de retención no baje del 50 por ciento, lo cual implica un mantenimiento bastante costoso en medios de intensa producción de sedimentos. El ritmo de relleno es muy variable en las distintas cuencas, dependiendo del conjunto de variables ambientales que controlan la erosión de sus áreas vertientes y el transporte de sedimentos. Las cuencas de terrenos calizos suelen producir menor volumen de sedimentos que las formadas por margas, areniscas, esquistos o pizarras. En función de ello la capacidad actual de los diques construidos entre 1975 y 1980 en medios semiáridos de la vertiente mediterránea española ha disminuido de forma muy desigual, situándose por ejemplo en torno al 88 por ciento en los terrenos carbonatados de la Sierra de Gádor (MARTÍN ROSALES *et al.*, 2003), al 67 por ciento en las subcuencas de esquistos y pizarras de la rambla de la Torrecilla, Lorca, y al 34 por ciento en las margas y margocalizas de de la cuenca drenada por la rambla del Cárcavo, Cieza (VICTOR CASTILLO *et al.*, 2003).

Los efectos geomorfológicos de la construcción de presas son muy desiguales en los tramos situados aguas arriba y abajo de las mismas (MARTINEZ CASTROVIEJO *et al.*, 1990; NOUH, 1990; COLLIER *et al.*, 1996). Es bien conocido que aguas arriba se produce una acumulación gradual en el lecho, debido a un incremento del nivel de base local (GARCÍA RUIZ Y PUIGDEFÁBREGAS, 1984). Como consecuencia, los diques se rellenan rápidamente de sedimentos, especialmente en medios semiáridos, donde la producción y liberación de sedimentos es extremadamente alta (POESEN y HOOKE, 1997).

Aguas abajo, los efectos sobre la dinámica del cauce parece ser más compleja. La construcción de una presa induce a un cambio apreciable en la carga de fondo, que puede provocar una alteración de la sección transversal, la forma del cauce, la pendiente longitudinal y el tamaño de las partículas del lecho (BRANDT, 2000). La pérdida de caudal sólido aguas abajo, tras quedar retenidos los materiales finos en la presa, aumenta considerablemente el potencial erosivo de la corriente, ya que la erosión transitoria originada por el caudal pico de las avenidas no puede ser compensada por la sedimentación en la fase descendente del hidrograma.

El estudio de los efectos de los diques sobre los procesos geomorfológicos fluviales en cauces torrenciales semiáridos se complica aún más por el carácter espasmódico y aislado de los sucesos hidrológicos. El régimen morfológico de estos cauces es muy inestable (figura 1), dada la respuesta generalmente rápida que ofrecen ante las lluvias irregulares y torrenciales. Los cauces que permanecen secos durante gran parte del año pueden transportar en ocasiones caudales líquidos y sólidos muy altos (CONESA GARCÍA, 1995). Las inundaciones mayores, que introducen modificaciones globales en el sistema fluvial y provocan grandes remociones de sedimentos, tienen un período de retorno de 2 a 6 años (CONESA GARCÍA, 1995). De hecho la morfología del cauce parece estar controlada en estos medios por sucesos de alta magnitud y escasa frecuencia (KNIGHTON y NANSON, 1997).

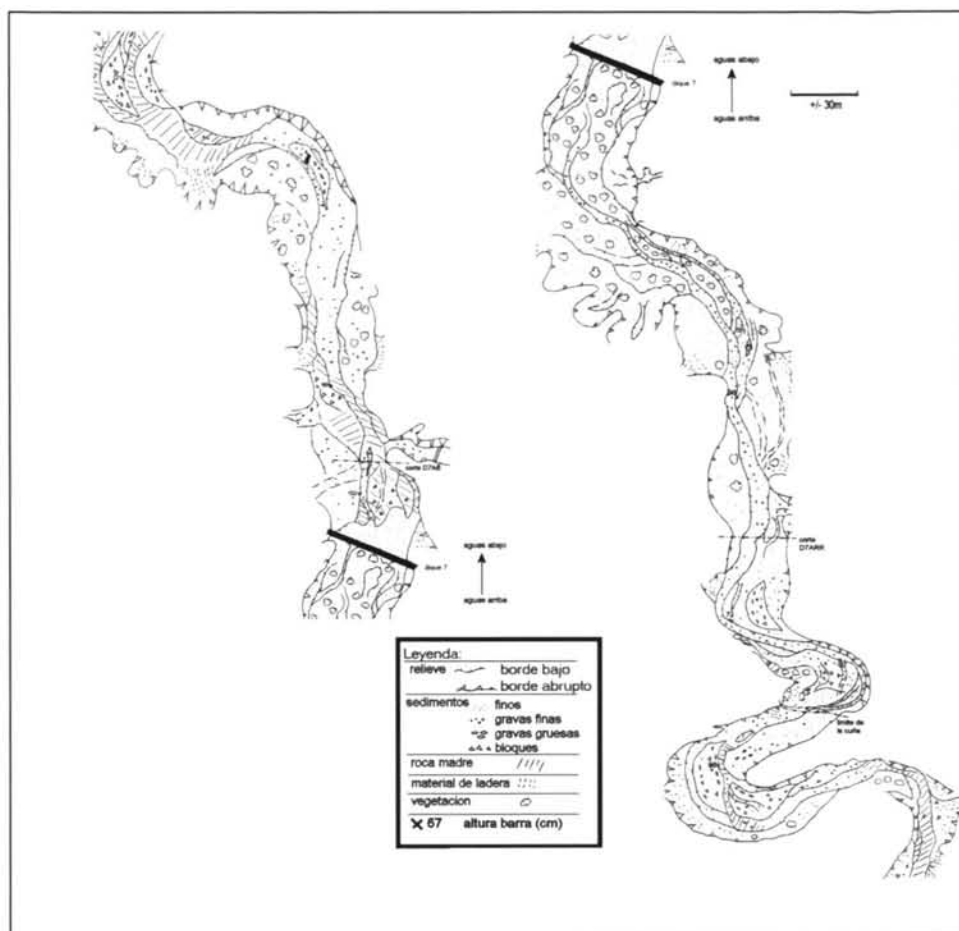


Figura 1. Ajustes morfológicos producidos por la construcción de diques (Rambla del Cárcavo) (1974-2003) (Fuente: *Castillo Sánchez et al.*, 2003)

Los diques de retención de sedimentos actúan como estructuras-obstáculo a la corriente, provocando un régimen de fuerte turbulencia inmediatamente aguas abajo y, en consecuencia, procesos de erosión local que implican un rebajamiento de la cota del lecho (figura 2). Ello contribuye a exhumar materiales más gruesos pertenecientes a depósitos anteriores, dando por resultado un lecho "acorazado", con mayor mezcla de tamaños y apreciables diferencias de tensión crítica a lo largo de sus secciones. Aguas arriba, en cambio, el predominio de finos en superficie supone un incremento de inestabilidad del lecho, parcialmente compensada por los efectos amortiguadores de una disminución de la pendiente.



Figura 2. Formas de incisión aguas abajo de los diques (izquierda: Rambla del Cárcavo; derecha: Rambla de la Torrecilla)

Funciones de los diques de retención abiertos

Los diques de retención abiertos se construyen en los cursos de montaña para controlar el transporte de sedimentos durante las avenidas y al mismo tiempo asegurar la circulación de los organismos acuáticos aguas arriba y abajo.

Los diques de tipo cerrado pueden capturar el sedimento transportado aguas arriba hasta que se produce el relleno completo. A partir de entonces pierde la función de retener material, aunque la nueva configuración morfológica del lecho hace disminuir la pendiente media y, con ello, la velocidad de la corriente. Para prevenir el riesgo de un desastre, sobre todo en áreas proclives a la generación de '*debris flows*', es conveniente crear una abertura en la parte central del dique (*fishway*) que permita arrastres parciales y la libre circulación de peces. De esta forma, también se cumple la función de proteger el ecosistema fluvial (CERATO y COALI, 1997). Dado que el material transportado aguas arriba fluye a través de dicha abertura o portillo, el sedimento no se deposita en su totalidad en la cara trasera de la presa. No obstante, el espacio abierto en este tipo de diques debe satisfacer las condiciones necesarias para retener sedimentos; por ejemplo, la anchura del portillo debe ser menor de 1,5 veces el diámetro máximo de los bloques potencialmente transportables aguas arriba, con el fin de evitar posibles desastres aguas abajo. Diversas investigaciones han mostrado que los indicadores más adecuados para comprobar la función de protección de un dique de retención abierto son, en torrentes con pendiente inferior a 3°, las relaciones del caudal con la anchura del portillo, y, en tramos donde las corrientes de derrubios (*debris flows*) transportan bloques de gran tamaño, las relaciones entre el tamaño de los bloques y la anchura del portillo. Otros autores como BUSNELLI *et al.* (2001) aplican un modelo morfológico numérico en diques de retención abiertos, válido para lechos móviles e inestables y de corriente con régimen variable.

Hasta ahora la mayoría de estos diques se han construido en lugares donde se dan dichas condiciones, sin embargo se conoce muy poco sobre sus efectos en corrientes de derrubios que contienen gran cantidad de materiales finos (HIDEAKI, 2002).

INTEGRACIÓN DE BIOTECNIAS DE RESTAURACIÓN E HIDROTECNIAS DE CORRECCIÓN

Resulta notoria la estrecha relación entre los fenómenos torrenciales en los cauces y la erosión de las cuencas receptoras. Es por ello que, salvo excepciones, el control de los torrentes no puede quedar circunscrito a meras actuaciones en los cauces; por el contrario, es absolutamente necesario actuar también en la cuenca, integrando un conjunto de acciones de carácter biológico-forestales con obras de ingeniería y medidas de carácter socio-económico que establezcan las regulaciones necesarias. Entre las medidas de control de torrentes destacan las siguientes: i) reducción de la cantidad de agua evacuada mediante el aumento de la evapotranspiración o a través de desagües artificiales desde la cuenca de recepción; ii) reducción temporal del agua en la superficie, en la zona subsuperficial o en el subsuelo, mediante el manejo de la vegetación, cambios en los usos del suelo o medidas estructurales; iii) retardo de la escorrentía y transporte de materiales por la disminución de las pendientes en la cuenca y el aumento de la rugosidad en el cauce; iv) retención temporal o permanente de sedimentos mediante diques transversales; v) desviación local de los caudales líquidos y sólidos respecto a las áreas amenazadas.

En relación con las biotecnias de restauración, se trabaja en aspectos muy diferentes: criterios para la elección de especies mediante el empleo de tablas de regresión climática, mapas de series de vegetación, tablas de juicio biológico, tablas de juicio ecológico y elección de procedencia, densidades de las plantaciones y microrrización de las plantas de vivero, limitaciones en el proceso de forestación por terrazas a causa de la estabilidad del desmonte, límites de pendiente de la ladera aterrazada, aplicación de explosivos agrícolas a los trabajos de preparación del suelo en las repoblaciones forestales, ensayos de clasificaciones de suelos según actitudes para la forestación, etc.

En cuanto a las hidrotecnias, estructuras transversales, la atención se centra en su clasificación funcional (diques de mampostería hidráulica, de mampostería gavionada, diques arco, de tierra y de tierra armada y otros tipos prefabricados), métodos de cálculo y tipo de fábrica, elementos para el diseño; vertederos, disipadores de energía según los valores del número de Froude, criterios para la elección de fábricas desde un punto de vista técnico, de impacto ambiental y económico, etc.

La falta de medidas biotécnicas que complementen la adopción de otras meramente estructurales puede acarrear graves situaciones de riesgo. Este es el caso de varias áreas montañosas de la Cordillera de la Costa, de San Gabriel y San Bernardino, en Venezuela, donde a menudo los proyectos de diques de retención ejecutados hasta el momento no han sido acompañados por medidas apropiadas de fitoestabilización de laderas (McCARTHY, 2004).

Argentina, Bolivia y Paraguay han diseñado varios programas de actuación conjunta en cuencas fluviales repartidas entre los tres países. En el marco de dichos programas han establecido mecanismos y sistemas de uso integral de los recursos naturales del río Santa Ana (Subcuenca río Calderas) y de control de sedimentos en la Cuenca del río Tolomosa (Subcuenca río Mena). En el caso de la Cuenca del río Tolomosa las obras de control de sedimentos (99 diques en total entre diques de tierra, gaviones y troncos) se han complementado con prácticas agroforestales y silvopastoriles.

También ha sido una tarea conjunta de los gobiernos de Argentina y Bolivia la preparación del Programa Estratégico de Acción para la Cuenca del Río Bermejo (PEA), a través de la Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija. Los trabajos se desarrollaron en ambos países, a partir de agosto de 1997 hasta su conclusión en junio de 2000. Una de las obras hidráulicas más importantes realizadas en este sentido han sido las presas de tierra y de gaviones construidas 30 kilómetros al Noreste de Tarija. Como organismo ejecutor figura la Organización de Estados Americanos (OEA) que tiene la responsabilidad de administrar los recursos suministrados al proyecto por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM-GEF) a través del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

En Turquía existen diversos organismos oficiales directa o indirectamente involucrados en temas sobre protección de suelos, que incluyen medidas hidrotécnicas y biológicas. El Ministerio de Recursos Forestales de este país aborda el control de la erosión en las cuencas altas con régimen forestal, mientras que la Dirección General de Obras Hidráulicas del Estado (GDRS) acomete el control de las avenidas y la estabilización de la corriente mediante la construcción de diques de retención y presas trampa de limos en los cursos de agua principales y áreas potenciales de inundación. Además de obras de corrección hidrológico-forestal la GDRS ha realizado mapas de suelos, inventarios estadísticos y análisis de suelos para irrigación, prácticas de conservación de suelos y propuestas de fertilización (ÖZDEN *et al.*, 2003).

En determinados países con menor capacidad técnica de actuación en materia hidrológico-forestal también se han conseguido importantes logros combinando obras de corrección de cauces con medidas biotécnicas. Por ejemplo, en el Barranco de Adisalam (distrito Degua Tembien de Tigray, Norte de Etiopía) se han contruido diques de piedra para prevenir la erosión, retener agua de lluvia y aumentar la fertilidad del suelo, proceso este último ayudado con la plantación de semillas mejoradas de gramíneas y arbustos leguminosos.

En España la Administración Central, a través de la Dirección General para la Conservación de la Naturaleza (DGCONA) del Ministerio de Medio Ambiente coordina planes y programas relacionados con la protección del suelo y el control de la desertificación que incluyen en todos los casos medidas hidrológicas estructurales y medidas biotécnicas. El documento de Estrategia Forestal Española (EFE) aprobado en 1999 trata de armonizar las responsabilidades en tales materias entre las administraciones Central y Autonómicas. EFE ha sido desarrollado a nivel nacional por medio del Plan Forestal Nacional (NFP) (MIMAM, 2001), adoptando como objetivo principal la integración de actuaciones hidrotécnicas y biotécnicas. Entre sus prioridades destaca la combinación de estructuras de control hidrológico y de la erosión con la reforestación de áreas degradadas, la protección frente a incendios y la aplicación de tratamientos de silvicultura destinados a mejorar la calidad de la masa forestal. En la misma línea se halla el Plan Nacional de Acciones Priorizadas para la Restauración Hidrológico Forestal, el Control de la Erosión del Suelo y la Lucha contra la Desertificación. Este Plan, promovido por la DGCONA en 1991 (ROJO SERRANO, 1998), incorpora medidas de actuación muy diversas: construcción de diques de retención y estructuras de estabilización de cauces, reforestación de áreas con cubierta vegetal degradada, implementación de prácticas de conservación de suelos y tratamientos silviculturales para la mejora de la calidad forestal.

En otras ocasiones, la necesidad de proteger determinadas áreas agrícolas frente a posibles avenidas impone adoptar medidas de corrección y restauración complementarias en los tramos altos. Por ejemplo, la transformación en regadío de la zona regable por la segunda parte del canal de Bárdenas (Zaragoza) ha supuesto la repoblación forestal de 118 ha y la corrección de la pendiente longitudinal de diversos barrancos próximos mediante diques de gaviones (DGEA, 2004).

También las Comunidades Autónomas tienen hoy día una importante responsabilidad en materia hidrológico-forestal. En los montes de Candelaria (Parque Natural de Corona Forestal), por ejemplo, la Comunidad Autónoma Canaria ha adoptado diversas medidas de control de la erosión con motivo del incendio de 1995, entre ellas la construcción de diversos diques de gaviones. A pesar de ello, las medidas estructurales han sido en este Parque siempre subsidiarias, primando tradicionalmente la planificación y gestión forestal. A partir de los años 40 se desarrolló una importante política de repoblaciones con pino canario (10.000 - 17.000 ha) y pino de Monterrey (2.200 - 3.000 ha), encaminada básicamente a incrementar la superficie de cubierta vegetal. Y desde 1986, con el traspaso de las competencias en gestión forestal a la Comunidad Autónoma Canaria, las masas forestales del parque se han sometido a una nueva política de actuación. Así, algunas de las masas de pino de Monterrey plantadas en zonas de monte verde están actualmente siendo transformadas en su cubierta original. En otros lugares, las labores silvícolas están prácticamente relegadas a una silvicultura preventiva contra incendios y de ordenación del combustible en márgenes de pistas y carreteras, o a un tratamiento de mejora en masas repobladas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido llevado a cabo en el marco del proyecto de investigación PI/13 "Respuesta hidrológica y geomorfológica de los sistemas fluvio-torrenciales afectados por obras de restauración hidrológico-forestal en cuencas semiáridas del Sureste Peninsular", financiado por la Fundación Instituto Euromediterráneo de Hidrotecnia, Consejo de Europa.

REFERENCIAS

- BANERJEE, A. (2004): 'Sukhna check dams saved city from flooding', *Chandigarh Tribune*, August 12, 2004, Chandigarh, India.
- BENDA, L.; REEVES, G. y MILLER, D. (2002): 'Headwater streams and landscape management: scaling considerations for forecasting and interpreting environment change'. *Symposium on small stream channels and their riparian zone: their form, function and ecological importance in a watershed context*. February, 19-20, 2002. Vancouver.
- BRANDT, S.A., 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena* 40, 375-401
- BUSNELLI, M.M., STELLING, G.S. y LARCHER, M. (2001): 'Numerical Morphological Modeling of Open-Check Dams', *J. Hydr. Engrg.*, 127, 2, pp. 105-114.

- CASTILLO SÁNCHEZ, V.; GONZÁLEZ BARBERÁ, G.; MOSCH, W.; NAVARRO CANO, J.A.; CONESA GARCÍA, C. Y LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2003): Seguimiento y evaluación de los trabajos de restauración hidrológico forestal. En CAAMA (Ed.), *Seguimiento y evaluación de los efectos sobre el medio natural de la sequía y los procesos erosivos en la región de Murcia*. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia. Murcia. Cap. III, pp. 167-233.
- CERATO, M. y COALI, R. (1997): 'Open Check Dams in the Italian Alps', *Structural Engineering International*, v. 7, No. 2.
- CHIUN, M.L. (1985): 'Impact of check dams on steep mountain channels in northeastern Taiwan'. In S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer & A. Lo (Ed.), *Soil erosion and conservation*. Soil Conservation Society of America, Ankeny, IA., pp. 540-548.
- COLLIER, M., WEBB, R.H., SCHMIDT, J.C, 1996. Dams and rivers: primer on the downstream effects of dams. *U.S.Geol. Surv.Circ.* 1126, 94 pp.
- CONESA GARCIA, C., 1995. Torrential flow frequency and morphological adjustments of ephemeral channels in southeast Spain. In: Hickin, E.J. (Editor), *River Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd., Ch.9, pp. 169-192.
- CONESA GARCÍA, C.; BELMONTE SERRATO, F. y GARCÍA LORENZO, R. (2004): "Efectos de los diques de corrección hidrológico-forestal en la competencia y estabilidad de corrientes efímeras. Aplicación a la cuenca de la rambla de la Torrecilla (Murcia)". En C. Conesa García y J.B. Martínez Guevara, *Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica*, Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Murcia, Murcia, pp. 69-83.
- DGEA, 2004: Informe de la Situación de la transformación en regadío de la zona regable por la segunda parte del canal de Bardenas (Zaragoza) publicado por el Departamento de Agricultura. Dirección General de Estructuras agrarias. Marzo, 2004.
- GARCIA RUIZ, J.M., PUIGDEFABREGAS, J., 1984. Efectos de la construcción de pequeñas presas en causas anastomosadas del pirineo central. *Cuadernos de Investigación Geografica*. Tomo XI, fasciculos 1 y 2, Logroño.
- GARCÍA RUIZ, J.M.; WHITE, S., MARTÍ, C., VALERO, B., ERREA. M.P. y GÓMEZ VILLAR, A. (1996). *La catástrofe del Barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Zaragoza, 54 p.
- GÖTZ, A. (2001): 'Flood Protection: A Common Goal for Federal Cantonal and Municipal Authorities'. Federal Office for Water and Geology.
- <http://216.239.39.100/search?q=cache:dh03StjXFwMC:www.bwg.admin.ch/themen/>
- GRANT, G.E. y HAYES, S.K. (2002): 'Sediment transport response to peak flow increases due to forest harvest activities, Western Cascades, Oregon'. *Symposium on small stream channels and their riparian zone: their form, function and ecological importance in a watershed context*. February, 19-20, 2002. Vancouver.

- HIDEAKI, M. (2002): 'Open type check dams to meet diverse needs'. *NILIM Annual Report 2002*. Research Trends and Accomplishments. National Institute for Land and Infrastructure Management, Japan, pp. 54-55.
- KNIGHTON, D., NANSON, G., 1997. Distinctiveness, diversity and uniqueness in arid river systems. In: *Arid zone geomorphology: process, form and change in dryland*. 2nd edition. Edited by D.S.G. Thomas. John Wiley & Sons Ltd., Ch. 9, pp.169-192
- MCCARTHY, G. (2004): 'The price of living in urbanized areas', *San Bernardino The Sun*, (sbsun.com), June 29, 2004.
- MARSTON, R.A., DOLAN, L.S., 1999. Effectiveness of sediment control structures relative to spatial pattern of upland soil loss in an arid watershed, Wyoming. *Geomorphology* 31: 313-323
- MARTÍN ROSALES, W. (1997): Efectos de los diques de retención en el borde meridional de la Sierra de Gádor. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Inédito, 266 p.
- MARTÍN ROSALES, W.; PULIDO BOSCH, A.; GISBERT, J. y VALLEJOS, A. (2003): 'Sediment yield estimation and check dams in a semiarid area (Sierra de Gádor, southern Spain)', In *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques* (Proceedings of symposium HS01 held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003). IAHS Publ. no. 279, pp. 51-58.
- MARTINEZ CASTROVIEJO, R., INBAR, M., GOMEZ VILLAR, A., GARCIA RUIZ, J.M., 1990. Cambio en el cauce aguas abajo de una presa de retención de sedimentos. *I Reunion nacional de Geomorfología*, 457-468, Teruel
- MIMAM (2001): Plan Forestal Español. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. http://www.mma.es/conserv_nat/planes/estrateg_forestal/etrateg_forest.htm
- MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (MnDOT) (2000): *Standard Specifications for Construction*. St. Paul.
- MINNESOTA POLLUTION CONTROL AGENCY (MPCA) (2000): *Protecting Water Quality in Urban Areas: Best Management Practices for Dealing with Storm Water Runoff from Urban, Suburban and Developing Areas of minnesota*. Minneapolis.
- NOUH, M., 1990. The flow regime downstream of dams in arid areas: development and effects of channel stability. In: *Hydrology in mountainous regions II: Artificial reservoirs, Water and Slopes*, Proceedings of the Lausanne Symposia, 27 Aug.-1 Sep. IAHS Publ. Vol.171.-177
- OLIVE, L.J., OLLEY, J.M. (1997): River regulation and sediment transport in a semi arid river: the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia. In: Human impact on Erosion and Sedimentation, *Proceedings of the symposium S6 during the 5th Scientific Assembly of the IAHS*, Rabat, Morocco, 23 April to 3 May. IAHS Publ. Vol. 245, 283-290
- POESEN, J.W.A., HOOKE, J.M. (1997): Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography* 21, 2: 157-199.

- POLLOCK, M.M.; KENNARD, P.M.; SILVER, J. y SAMPSON, J.R. (2002): 'Wood and sediment storage in steep, headwater streams of late-successional forests in the Western Olympic Mountains'. *Symposium on small stream channels and their riparian zone: their form, function and ecological importance in a watershed context*. February, 19-20, 2002. Vancouver.
- PULIDO BOSCH, A.; SIMÓN, E.; MARTÍN ROSALES, W.; VALLEJOS, A.; PADILLA, A.; NAVARRETE, F. y PÉREZ PARRA, J. (1992): 'Efecto sobre el medio ambiente de los diques de retención en la vertiente sur de Sierra de Gádor (Almería)'. *V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio: Problemática Ambiental y Desarrollo*. I, pp. 119-128. Murcia.
- REMAÎTRE, A.; LAIGLE, D.; MALET, J.P. y MAQUAIRE, O. (2004): 'Influence of check dams on debris flow runout. A sensitivity analysis based on numerical simulations', Reunion des Sciences de la Terre - Joint Earth Sciences Meeting. RSTGV12 Natural hazards / Risques naturels. Abstract RSTCV-A-00038.
- ROJO SERRANO, L. (1998): 'Programmes of national agencies for mitigation of desertification in Spain'. In S. Bruke & J. Thornes (Eds.), *Actions taken by National Governmental and Non-governmental Organisations to Mitigate Desertification in the Mediterranean*, European Commission, Brussels, pp. 211-242.
- ROSHANI, R. (2003): *Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimise the flood control measures (Kan case study in Iran)*. Thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, Netherlands, pp. 33-41.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) (2003): *Straw Bale Check Dam*. Fact sheet. Montana, October 2003.
- ÖZDEN, D.M.; DURSUN, H. y SEVINÇ, A.N. (2003): "The land resources of Turkey and activities of General Directorate of Rural Services", *Bildiri Özetleri, GDRS*, Ankara. Documento extraído de 'http://www.toprak.org.tr/isd_03.htm' en noviembre de 2004.
- TRAGSA – TRAGSATEC (1998): *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Ministerio de Medio Ambiente, TRAGSA, TRAGSATEC, Ediciones Mundi Prensa. Madrid, pp. 641-751.
- VARELA NIETO, J.M.; GARCÍA VILA, F.; CACHÓN DE MESA, J.; GARCÍA OCHOA, A.R. Y MATILLA GARRIDO, A. (1997-1999): *Realización de inventarios de obras de corrección hidrológico-forestal y de las variables ambientales relacionadas con las mismas*. Proyecto 51-495-1-020, CEDEX. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.

Fecha de Recepción: 30 de Abril de 2004. Fecha de aceptación: 20 de Junio de 2004.