

Efectividad de los proyectos de restauración hidrológico forestal para el control de la erosión en cuencas mediterráneas

V. M. Castillo⁽¹⁾, C. Boix Fayos⁽¹⁾, J. De Vente⁽²⁾ M. Martínez-Mena⁽¹⁾,
G. G. Barberá⁽¹⁾

(1) Departamento de Conservación de Suelos y Agua, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Apartado 164 30100 Espinardo Murcia (victor@cebas.csic.es)

(2) Departamento de Desertificación y Geoecología (EEZA-CSIC). General Segura 1 04001 Almería

RESUMEN

Extensive land use changes have occurred in many Mediterranean catchments as a result of reforestation and the abandonment of agricultural activities. Besides this, the establishment of check-dams has been promoted to reduce soil erosion and sediment transport. In this study a combination of field work, mapping and modelling was used to test the influence of land use scenarios with and without sediment control structures on sediment yield at catchment scale. Model simulation shows that in a scenario without check-dams, the land used changes between 1956 and 1997 caused a progressive decrease in sediment yield of 54%. In a scenario without land use changes but with check-dams, about 77% of the sediment yield was retained behind the dams. Both land use changes and check-dams are effective measures decreasing sediment yield in catchment, however they act at very different temporal scales. Land use changes are long-term sustained sediment control measures compared with check-dams, which are short-term effective sediment control measures.

Palabras clave: land use change; soil erosion, sediment yield, check-dams; WATEM-SEDEM

INTRODUCCIÓN

Los usos del suelo de las áreas montañosas de la vertiente mediterránea española han sufrido en la segunda mitad del siglo XX una profunda transformación. Las causas de estos cambios radican en el abandono de los usos agrarios del territorio, consecuencia del masivo éxodo de la población rural hacia las zonas urbanas, y en la ejecución de proyectos de restauración hidrológico-forestal, auspiciados por la Administración para el control de la erosión y la defensa contra avenidas torrenciales. Los proyectos de restauración hidrológico-forestal han combinado medidas encaminadas a la restauración de la cubierta vegetal, a largo plazo, con otras medidas estructurales, fundamentalmente diques de retención de sedimentos, mas a corto plazo enfocada a la estabilización del perfil longitudinal de los cauces torrenciales. Sin embargo, tanto los cambios de uso del suelo de la cuenca como la construcción de obras hidráulicas pueden alterar el régimen hidrológico del cauce y su morfología, generando impactos no deseados que anulen los efectos beneficiosos previstos en la redacción del proyecto (CASTILLO *et al* 2007; BOIX-FAYOS *et al.*, 2007).

Se presenta un estudio que trata de determinar el efecto individualizado de los cambios de uso del suelo y de la construcción de diques en la disminución de sedimentos observada en una cuenca mediterránea en la que se ejecutaron diversos proyectos de restauración hidrológico-forestal. El objetivo de este estudio es evaluar la eficiencia de este tipo de actuaciones para reducir la degradación específica de cuencas hidrográficas en medios mediterráneos

MÉTODOS

El estudio se realizó en la cuenca de la Rogativa (Murcia 38° 08' N, 2° 13' O) de 47.2 km²: La cuenca es tributaria del río Taibilla y alimenta el embalse del mismo nombre. La zona alta y laderas están constituidas por calizas del Cretácico mientras que en los fondos de valle predominan las margas miocénicas. La precipitación media anual es de 583 mm y la temperatura media es de 13,3°C. Los usos del suelo han sufrido una profunda transformación en el período 1956-1997 (Tabla 1) con un progresivo abandono de la actividad agraria y un aumento de la superficie ocupada por el bosque (fundamentalmente pinares de P. nigra). En 1976 y 1977 en el marco de un proyecto de restauración hidrológico-forestal se construyeron 58 diques de los cuales el 72% están colmatados y el 81% presentan signos de erosión en el cauce aguas abajo del dique (BOIX-FAYOS et al., 2007)

La metodología empleada en este trabajo ha consistido en tres partes: (i) inventario de los diques en campo, estimación del volumen de sedimentos retenidos mediante georeferenciación de la cuña sedimentaria con GPS, y caracterización de los suelos de las subcuencas (ii) desarrollo de un SIG mediante el software IDRISI, en el que se incluye los mapas de uso del suelo de la cuenca en los años 1956, 1981 y 1997 obtenidos por fotointerpretación y la información necesaria para evaluar los parámetros del modelo (BOIX-FAYOS et al 2008); y (iii) modelización de la producción de sedimentos mediante el modelo WATEM-SEDEM (VAN ROMPAEY et al., 2001).

El modelo WATEM-SEDEM calcula la producción de sedimentos en cada celda en la que se discretiza la cuenca y consta de tres componentes: un módulo de producción de sedimentos basado en una versión modificada de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE):

$$E = R \times K \times LS_{2D} \times C \times P; \quad (1)$$

un estimador de la capacidad de transporte para cada celda

$$TC = KTC \times R \times K \times A^{1.4} \times S^{1.4} \quad (2)$$

en el que KTC es un coeficiente de transporte que debe calibrarse, A la cuenca vertiente a la celda y S la pendiente media de la celda; y un algoritmo de conducción (routing) de los sedimentos hasta el cauce. El modelo considera que si E es mayor que TC hay sedimentación, y que todo el sedimento que alcanza la red de drenaje es evacuado hasta la salida de la cuenca .

El modelo se calibró estimando la tasa de erosión a partir de los volúmenes de sedimentos retenidos medidos en los diques no colmatados. Una vez calibrado se ejecutó para 6 posibles escenarios. Los escenarios definidos resultan de considerar los tres estados de usos del suelo, según los mapas de 1956, 1981 y 1997, con y sin diques de corrección.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre 1956 y 1997 el área ocupada por el bosque denso aumentó 4,8 veces mientras que la superficie forestal de densidad media lo hizo 2,3 veces. Por el contrario, el área dedicada a la agricultura descendió un 57% (Tabla 1). Estos cambios son consecuencia del abandono del uso agrícola, la recolonización natural del bosque y los trabajos de repoblación. Un análisis del "pattern" horizontal de la vegetación, utilizando la razón perímetro/área y el índice de fragmentación (MONMONIER, 1974), demuestra una progresiva fragmentación y desconexión de las zonas agrícolas mientras la conectividad de las zonas forestales aumenta en el mismo periodo (Tabla 1).

Tabla 1. Área ocupada e indicadores de patrón espacial por usos del suelo en 1956, 1981, 1997

	Superficie (km ²)			Relación perímetro/área (km/km ²)			Índice de fragmentación		
	1956	1981	1997	1956	1981	1997	1956	1981	1997
Forestal .Alta densidad	1.98	6.91	9.51	25.09	11.93	4.54	0.055	0.030	0.035
Forestal. Media densidad	7.09	10.07	16.52	15.94	7.94	3.71	0.038	0.020	0.024
Forestal. Baja densidad	15.34	8.36	10.10	9.16	7.05	9.17	0.024	0.018	0.023
Matorral.	6.00	9.92	2.47	14.73	11.43	18.41	0.037	0.027	0.041
Pastos	4.04	2.13	2.73	15.06	14.05	13.03	0.037	0.036	0.032
Agricultura secoano	12.07	9.15	5.21	9.47	10.75	12.93	0.023	0.025	0.029
Medio				14.91	10.53	10.30	0.036	0.026	0.031

Los valores de degradación específica calculada para todas las subcuencas estudiadas, muestran una gran variabilidad, con un rango que oscila entre 0,25 t ha⁻¹ a⁻¹ y 107,33 t ha⁻¹ a⁻¹ para cuencas de 352,4 y 1,1 ha respectivamente. Existe una reducción progresiva de la degradación específica conforme aumenta el área de la cuenca, de forma que por encima de las 40 has de superficie el 85% de las subcuencas registran valores de degradación específica inferiores a 2 t ha⁻¹ a⁻¹. Sin embargo, se observa que en los diques situados en el cauce principal hay una ligera tendencia creciente de la degradación específica aguas abajo como consecuencia de aportes laterales de sedimentos y fenómenos de erosión en cauces. Los valores óptimos del parámetro KTC fueron de 10⁻⁶ y 3x10⁻⁵ para superficies con vegetación densa y zonas de escasa vegetación o desnudas respectivamente. Con estos valores el modelo calibrado alcanzó un coeficiente de ajuste de Nash-Sutcliffe de 0,84. El modelo calibrado de ejecutó para los seis escenarios de simulación definidos con anterioridad. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2

Los resultados de la simulación aplicados a los escenarios de cambios de uso del suelo sin diques de corrección reflejan una reducción de la producción de sedimentos en consonancia con el aumento de la cubierta vegetal. En 1981 la producción de sedimentos era un 44% menor que la simulada en el año 1956 aumentando la reducción al 54% si simulamos los usos del suelo según el mapa de 1997. Entre 1997 y 1984 hubo un descenso del 10% en la producción de sedimentos al tiempo que el uso agrícola disminuía un 9% y se observó un aumento del 18% de la superficie forestal. En cuanto a la contribución de los diques en la reducción de los sedimentos, se observa que esta supone un 77% de reducción si se hubiese mantenido los usos del suelo cartografiados en 1956. En los escenarios de 1981 y 1997, la construcción de los 58 diques supuso un aumento adicional del 54 y del 34% en la reducción de sedimentos.

Tabla 2. Las tablas aparecerán centradas.

	Uso del suelo		
	1956	1981	1997
Producción de sedimentos sin diques	1123 t	632 t	519 t
Disminución respecto 1956	-	- 44 %	-54 %
Sedimentos retenidos en las presas	866 t	613 t	382 t
Sedimentos retenidos sobre el total	77 %	97 %	74 %
Producción de sedimentos con diques	257 t	19 t	137 t
Disminución respecto 1956	-77 %	-98 %	-88 %

CONCLUSIONES

Tanto las medidas biológicas (recuperación de la cubierta vegetal) como las estructurales (hidrotecnias) incluidas en los proyectos de restauración vegetal son eficientes para disminuir la degradación específica de la cuenca. Sin embargo, cada una de ellas actúa a diferentes escalas. A largo plazo, el control ejercido por los usos del suelo sobre la producción de sedimentos es mayor que el obtenido mediante la construcción de hidrotecnias. La eficiencia de estas obras se reducen con el tiempo y conforme aumenta la cobertura vegetal de la cuenca. Así, en la cuenca de La Rogativa, los sedimentos retenidos por los diques en 1981 suponen un 97% de los originados en la cuenca, 16 años más tarde, en 1997, aunque los sedimentos se reducen un 10% más, la cantidad de ellos retenidos por los diques supone un 74%

Los cambios de usos del suelo ejercen un control eficiente a largo plazo de la producción de sedimentos en una cuenca mientras la construcción de diques es una medida temporal, de eficacia limitada a corto plazo que puede verse reducida por la erosión inducida aguas abajo o por los movimientos de tierra durante su construcción.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados expuestos en este trabajo se han obtenido en el marco de los proyectos PROBASE CGL2006-11619 y ERCO CGL2007-62590/BTE del Plan Nacional de I+D.

REFERENCIAS

- ❖ BOIX-FAYOS, C., BARBERA, G.G.; LOPEZ-BERMUDEZ, F. Y CASTILLO V.M. 2007 Effects of check-dams, reforestation and land uses changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain) *Geomorphology* 91:103-123
- ❖ BOIX-FAYOS, C., DE VENTE, J., M. MARTINEZ-MENA; G.G. BARBERÁ Y V. CASTILLO 2008 The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. *Hydrological Processes* DOI 10.1002/hyp.7115
- ❖ CASTILLO, V.; MOSCH, W; CONESA GARCÍA, C.; BARBERÁ G.G., NAVARRO-CANO, J.A. Y LOPEZ-BERMUDEZ F., 2007 Effectiveness and geomorphological impact of check-dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment. El Cárcavo (Murcia, Spain) *Catena* 70:416-427
- ❖ MONMONIER, M.S. 1974 Measures of pattern complexity for choropleth maps. *The American Cartographer* 2:159-169
- ❖ VAN ROMPAEY A.J., VERSTRAETEN, G.; VAN OOST K., GOVERS, G.; Y POESEN J. 2001 Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 26:1221-1236.