

Determinación de la erosión en la Cuenca del Segura a partir de los sedimentos acumulados en sus embalses

Determination of the erosion in the Segura Basin by considering the sediment accumulated in its reservoirs

M.E. Sanz-Montero, C. Avendaño, R. Cobo y J.L. Gómez

Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX), Paseo Bajo Virgen del Puerto, 3. 28005 Madrid.

ABSTRACT

Bathymmetrical surveys and sedimentological studies have been carried out in 12 reservoirs located in the Segura Basin (Southeast part of Spain). These reservoirs possess 81% of the total storage capacity of the Segura Basin and their catchments cover 36% of the total surface area of this basin. Therefore the results are highly representative for the area. These results indicate that every year more than 2 millions tons of sediment are deposited in these reservoirs occupying a volume higher than 1.64 hm³. In this way, the Segura Basin has lost, at least, 10.68% of its initial storage capacity. The capacity loss in the reservoirs is a consequence of the soil losses taking place in the Segura Basin that range from 185 to 697 t/km².year.

Key Words: *sediment yield, reservoir sedimentation, bathymmetrical surveys, capacity losses, Segura Basin.*

*Geogaceta 23 (1998), 135-138
ISSN: 0213683X*

Introducción

El fenómeno de la erosión es causa de serios problemas para la sociedad por lo que desde mediados de este siglo viene siendo objeto de numerosos trabajos que persiguen su evaluación.

Existen diversos procedimientos para medir la erosión de modo directo pero éstos requieren el empleo de abundantes recursos humanos y económicos, de los que se suele carecer, siendo así que habitualmente se recurre al uso de medidas indirectas o estimaciones.

Entre los métodos que se aplican para estimar la erosión, el más empleado consiste en determinar previamente la degradación específica de una cuenca, en el sentido de Fournier (1960), tomando como base de partida los sedimentos acumulados en un embalse durante un período de tiempo (ICOLD, 1989). Dicha metodología es precisa aunque laboriosa ya que requiere el uso de técnicas batimétricas y sedimentológicas, así como del cálculo de diferentes parámetros: granulometrías, densidad del sedimento, régimen de explotación del embalse, capacidad de retención, etc. (Avendaño *et al.*, 1995).

Mediante esta metodología se ha determinado en España la degradación específica en aproximadamente 60 cuencas de embalses (Sanz Montero *et al.*, 1996;

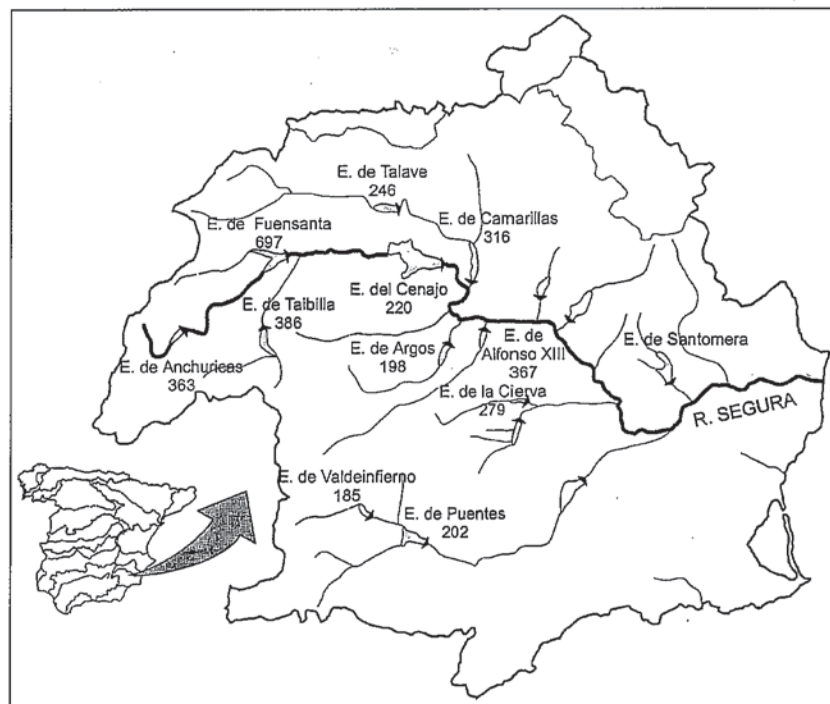


Fig. 1.- Cuenca del Río Segura. Situación de los embalses estudiados con indicación de los valores de degradación específica (t/km².año).

Fig. 1.- River Segura Basin. Situation of the study reservoirs indicating the sediment yield values (t/km².year).

Avendaño *et al.*, 1997). Doce de estas cuencas se sitúan en la cabecera de la Cuenca del Río Segura y cubren el 36%

de su territorio. A esta extensa representación espacial se añade una amplia representación temporal, pues la mayoría

Embalse	Fecha	Precipitación anual (mm)	Pendiente (%)	Superficie (km ²)	% Cuenca representado	Aportes (t/año)	Degradación (t/km ² .año)
Santomera	1965	284	2.9	133	0.7	---	---
Valdeinfierno	1897	411	3.9	427	2.27	2.97	185
Argos	1970	369	4.5	444	2.34	5.31	198
Puentes	1791	365	2.3	1042	5.56	10.87	210484
Cenajo	1960	384	4.1	1060	5.65	16.52	233200
Talave	1918	630	6.5	763	4.07	20.59	187698
La Cierva	1929	358	2.6	167	0.89	21.48	46593
Camarillas	1960	376	2.8	579	3.09	24.57	182964
Anchuricas	1957	824	4.5	238	1.27	25.84	86590
Alfonso XIII	1916	374	3.4	852	4.54	30.38	312684
Taibilla	1973	485	3.5	380	2.02	32.4	146680
Fuensanta	1933	533	4.2	698	3.71	36.11	485615
TOTAL				6781		36.11	2060415

Tabla 1.- Embalses estudiados, principales características de sus cuencas vertientes y valores de erosión resultantes.

Table 1.- Study reservoirs, main features of their catchments and erosion results.

de los embalses llevan funcionando varias décadas e incluso algunos, caso de los embalses de Puentes y Valdeinfierno, más de un siglo. En este trabajo se analizan los resultados de degradación específica obtenidos con reconocimientos batimétricos y sedimentológicos de embalses en la Cuenca Hidrográfica del Segura.

Características de los embalses y sus cuencas

Para este estudio se han utilizado los datos obtenidos por el CEDEX en los reconocimientos batimétricos y sedimentológicos de los 12 embalses de la Cuenca Hidrográfica del Segura y que se relacionan en la figura 1 y en la tabla 1.

Las cuencas de estos embalses tienen tamaños muy variados desde 133 hasta 1060 km². Se reparten en los dos tercios más occidentales de la Cuenca y regulan todos los cauces que discurren por ese área (Fig. 1). De modo que, en ese sector, las partículas arrancadas por erosión son arrastradas por estos cauces hasta los referidos embalses donde finalmente se depositan. Las precipitaciones medias en estas cuencas presentan una fuerte dispersión espacial ya que oscilan entre 284 y 824 mm.

Geológicamente, la mayor parte de las cuencas se sitúa dentro de los Dominios Prebético y Subbético, donde afloran fundamentalmente calizas, dolomías y margas del Mesozoico y Neógeno. La abundancia de este grupo litológico se refleja en la composición de los sedimentos acumulados en los embalses, de tal forma que dentro de España éstos son los que presentan un porcentaje más elevado de carbonatos de composición tanto calcífica como dolomítica (Sanz *et al.*, 1997).

Por otra parte, los embalses estudiados fueron construidos entre 1791 (Puentes) y 1973 (Taibilla), por lo que, en el momento de realizar las batimetrías, los

embalses llevaban en explotación varias décadas. Así, el registro sedimentario es representativo de la situación erosiva media de la cuenca.

Resultados y discusión

La degradación específica o *specific sediment yield* se define, formalmente y según Vanoni (1975), como: "el total de sedimentos derivados de una cuenca de drenaje o vertiente, medido en una sección transversal de referencia en un período concreto de tiempo". Se expresa normalmente en toneladas/km².año.

Los valores de degradación específica obtenidos para las cuencas de los doce embalses se recogen en la tabla 1.

Previamente a analizar los resultados, cabe comentar que el método empleado si bien es el único que permite medir los aportes de sedimentos a los embalses durante un período prolongado, también presenta una serie de errores potenciales que le son inherentes (Butcher *et al.*, 1993). Una de estas fuentes de error deriva de la presencia de sedimentos autóctonos en los embalses.

Existen indicios de que en algunos embalses de la cuenca del Segura precipitan carbonatos. Aludimos a indicios tales como un descenso de la alcalinidad en las aguas superficiales durante la primavera (según datos tomados por Margalef *et al.*, 1976) y/o una variación en el porcentaje de carbonatos a lo largo de perfiles verticales levantados en el embalse de Puentes (Cobo *et al.*, 1997). No todos los carbonatos generados en superficie alcanzan el fondo del embalse, pues una parte de éstos se disuelve al atravesar la termoclina, si es que el embalse tiene lámina de agua suficiente para estratificarse (Sanz *et al.*, 1997). Por esta compleja interacción de procesos, resulta muy complicado cuantificar qué fracción de los carbonatos sedimentados en los embalses de esta cuenca

son de origen autóctono.

Según estas observaciones es posible que en una parte, si no en todos, los embalses estudiados los resultados de degradación específica estén algo sobrevalorados por los procesos de precipitación referidos.

Otra posible fuente de errores proviene de que el volumen inicial, por la antigüedad de algunos embalses, no sea muy preciso. De tal manera que al realizar el reconocimiento batimétrico, se obtenga un volumen de embalse mayor que el inicial como ha ocurrido en el embalse de Santomera. En estos casos, por tanto, no es posible calcular la degradación específica.

Teniendo en cuenta estas salvedades, cabe indicar que los valores de degradación específica obtenidos oscilan entre 185 y 697 t/km² año. Si exceptuamos el dato más alto referente a la cuenca del embalse de Fuensanta, estos valores se concentran en un intervalo más estrecho que varía de 185 a 386 t/km² año.

En términos de extensión las cifras se distribuyen del siguiente modo (Tabla 1). Menos del 4% del territorio estudiado se caracteriza por valores de degradación específica superiores a 400 t/km² año. El 20% de la superficie de la cuenca presenta valores más bajos de 246 t/km² año. Entre 202 y 246 t/km² de degradación anual experimenta el 15% de la superficie de la cuenca que está integrada en tres de las grandes cuencas vertientes analizadas (Puentes, Cenajo y Talave).

Prescindiendo del embalse de Argos, las cuencas que se encuentran próximas entre sí muestran valores de degradación específica similares (Tabla 1 y Fig. 1). Así, los valores más bajos de degradación específica se encuentran en el Sur. Por el contrario, las cuencas que aportan más sedimentos a sus embalses son las situadas en el Noroeste.

Las causas que provocan esta distribución de valores de degradación no están claras, ya que los factores naturales a los que normalmente se alude para justificar estas diferencias no son tan dispares en las cuencas examinadas. Nos referimos a las precipitaciones, usos del suelo, pendiente, geología, etc.

Se considera que el factor climático más importante en la distribución espacial de la degradación específica es la precipitación. Sin embargo, los valores máximos de precipitación anual media en la Cuenca del Segura no coinciden con los valores máximos de degradación específica, como tampoco lo hacen los valores mínimos o intermedios (Tabla 1).

Aunque la pendiente de las cuencas es

el elemento morfológico que más influye en la erosión, en las cuencas analizadas no se aprecia una relación directa entre el grado de inclinación del terreno y el valor de degradación específica (Tabla 1).

Generalmente, se alude a que la cubierta vegetal es un componente de crucial importancia en la resistencia a la erosión que opone el suelo. En nuestro caso este componente no explica las diferencias de degradación observadas porque los usos que se dan al suelo en las distintas cuencas no son considerablemente distintos.

Similar comentario se puede hacer respecto a la influencia de la geología. Por tanto, los factores naturales no justifican la distribución espacial de la degradación específica en la Cuenca del Segura. Ello parece indicar que este complicado reparto de valores debe de estar motivado por las distintas actuaciones humanas llevadas a cabo dentro de la cuenca (obras públicas, canteras, deforestación, etc.) que pueden tener un efecto dual tanto acelerando como mitigando los procesos de erosión.

Comparación con otras cuencas

En España, hasta la fecha se han realizado batimetrías y estudios subsecuentes de erosión en aproximadamente 60 cuencas fluviales (Sanz *et al.*, 1996; Avendaño *et al.*, 1997). Si comparamos los valores obtenidos en esos estudios con los presentados en éste se puede destacar que el valor mínimo de 185 t/km².año reconocido en la Cuenca del Segura es elevado ya que algo más de 1/3 de las cuencas españolas estudiadas presenta degradaciones inferiores. En el extremo opuesto, 1/6 de cuencas supera el valor máximo reconocido en la Depresión del Segura. Por su parte, el valor medio de la Cuenca del Segura, que asciende a 310 t/km² año, es inferior a la media de 429 t/km² año que corresponde al conjunto de 60 datos citado.

Relación superficie-aporte de sedimentos

Generalmente, se admite que existe una relación inversa entre la degradación específica y las dimensiones de la cuenca (Walling, 1983). La justificación a este tipo de relación sería que a medida que aumenta la superficie también crecen las oportunidades de que las partículas erosionadas se sedimenten dentro de la propia cuenca sin abandonarla. En España se ha establecido también una relación entre ambas variables (Sanz *et al.*, 1996; Avendaño *et al.*, 1997). Sin embargo, en este caso los parámetros correlacionados son superficie y aportes anuales de sedimentos (Fig. 2). Se ha utilizado este últi-

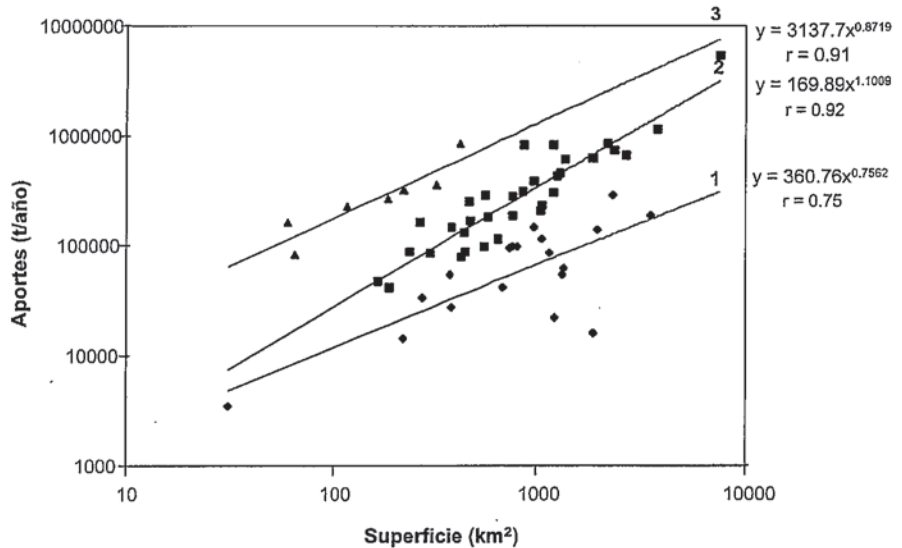


Fig. 2.- Relación entre la superficie de la cuenca y los aportes de sedimentos en los tres grupos de cuencas diferenciados.

Fig. 2.- Regression lines that relate the catchment surface area to the sediment yield for the three groups differentiated.

mo parámetro en vez de la degradación específica ya que las variables con términos comunes pueden generar correlaciones falsas (De Boer y Crosby, 1996). Como resultado de esta correlación se ha obtenido un intervalo de variación dentro del cual se pueden diferenciar tres rectas (Fig. 2). En torno a la recta 3, se agrupan cuencas con pequeñas superficies y elevados valores de degradación específica. El grupo de cuencas que se adaptan a la recta 1, por el contrario, presentan valores bajos de degradación. Finalmente, la mayoría de cuencas estudiadas se caracterizan por valores de degradación intermedios y se agrupan en la recta 2. El exponente de la recta 2 es ligeramente superior a 1 (Fig. 2), lo que indica que los

aportes de sedimentos aumentan algo más deprisa que la superficie de las cuencas, resultando en un incremento de la degradación específica aguas abajo. Dedkov y Moszherin (1992) interpretan que este tipo de relación es característica de zonas en las que dominan los procesos de erosión en cauces. En las otras dos rectas el exponente es menor a 1 lo que denota que en estas cuencas se produce el efecto contrario, es decir, un descenso de la degradación específica aguas abajo. Según dichos autores en estas cuencas se produce principalmente erosión en pendientes (erosión en regueros, sheet, etc.).

Todos los embalses de la cuenca del Segura analizados se adecuan a la recta 2 y, por tanto, participan de las mismas ca-

Embalse	Volúmenes (hm ³)		Pérdida de capacidad			
			Total		Anual	
	Inicial	Batimetría	hm ³	%	hm ³	%
Alfonso XIII	42.8	22.508	20.792	48.57	0.263	0.61
Anchuricas	8	6.241	1.759	21.99	0.080	1.00
Argos	11.722	10.056	1.666	14.21	0.079	0.68
Camarillas	34.516	34.327	0.189	0.55	0.006	0.02
Cenajo	472	465.597	6.403	1.36	0.200	0.04
La Cierva	7.5	5.071	2.429	32.39	0.042	0.56
Fuentsanta	235	209.727	25.273	10.75	0.436	0.19
Puentes	31.56	12.834	18.726	59.33	0.185	0.59
Santomera	26.386	31.348	-4.962	-18.81	-0.177	-0.67
Taibilla	10	9.09	0.910	9.10	0.114	1.14
Talavé	47.203	34.859	12.344	26.15	0.165	0.35
Valdeinfierno	25	13.851	11.149	44.59	0.072	0.29
TOTAL	951.687		101.64		1.64	

Tabla 2.- Pérdida de capacidad anual y total en los embalses estudiados.

Table 2.- Annual and total reservoir capacity losses in the Segura Basin.

racterísticas señaladas para los embalses de este grupo.

Influencia de la erosión en la capacidad de almacenamiento de la Cuenca del Segura

De acuerdo con el MOPU (1986), la capacidad de embalse en la Cuenca Hidrográfica del Segura, ascendía a 1172.52 hm³. La capacidad inicial de los 12 embalses en los que se han realizado batimetrías era de 951.687 hm³, que representaba el 81% de la capacidad total de la Cuenca.

A partir de la tabla 2, donde figuran datos referentes a las pérdidas de capacidad, se colige que el porcentaje de pérdida de capacidad anual es inferior al 1%, excepto en los embalses de Anchuricas y Taibilla. Anualmente, el conjunto pierde 1.64 hm³ (0.17%). Desde su puesta en funcionamiento en los embalses analizados se ha reducido su volumen en 101.64 hm³ que corresponde al 10.68% de la capacidad inicial de la Cuenca del Segura.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de la Investigación Conjunta entre el CEDEX y la Fundación General de la

Universidad Politécnica para "El estudio de los efectos de la erosión fluvial en cauces sobre la capacidad de almacenamiento de embalses en las cuencas del Guadiana y Segura".

Referencias

Avendaño C., Cobo R., Gómez J.L. y Sanz Montero M.E. (1995): *Ingeniería Civil*, 99: 51-58.

Avendaño C., Sanz Montero M.E., Cobo R. y Gómez J.L. (1997): *Nineteenth- Congress on Large Dams*. Florencia. Q. 74. R. 54: 863-874.

Butcher D.P., Labadz J.C., Potter A.W.R. y White P. (1993): *Geomorphology and Sedimentology of Lakes and Reservoirs*. En: McManus J. y Duck R.W. (Eds.). Wiley. 73-92.

Cobo R., Sanz Montero M.E., Gómez J.L., Avendaño C. y Plata A. (1997): *Nineteenth- Congress on Large Dams*. Florencia. Q. 74. R. 52: 835-847.

De Boer D.H. y Crosby G. (1996): En: Walling D.E. y Webb B.W. (Eds.). *IAHS Publication* n° 236: 333-338.

Dedkov A. P. y Moszherin V. T. (1992):

En: Walling D. E., Davies T. R. y Hasholt, B., (Eds.) *IAHS Publ.* n° 209: 29-36.

Fournier, F. (1960): *Climat et erosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Presses Universitaires de France. 201 pp.

Icold (1989). *Sedimentation control of reservoirs. Guidelines*. Bull. 67, 159 pp.

Margalef et al. (1976): *Limnología de los embalses españoles*. M.O.P., Publicación n° 123: 422 pp.

Mopu (1986): *Inventario de presas españolas*. 95pp.

Sanz Montero M.E., Cobo R., Avendaño C. y Gómez J.L. (1996): *First European Conference on Erosion Control*, Sitges. (En prensa).

Sanz Montero M.E., Cobo R., Gómez J.L. y Avendaño C. (1997): *I Congreso Ibérico de Geoquímica*. En: CEDEX (Ed.). Soria. 417-424.

Vanoni, (1975): *Sedimentation engineering*. Reports in engineering practice, 54, A.S.C.E., Nueva York, 745 pp.

Walling D.E. (1983): *J. Hydrol.* 65: 209-237.