

ESTIMACION DE LA EROSION Y ATERRAMIENTOS DE EMBALSES EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SEGURA

Francisco López Bermúdez*
J. Daniel Gutiérrez Escudero**

RESUMEN

Se estima la intensidad de la erosión en la cuenca del río Segura a partir del volumen de aterramiento de los embalses y se compara con datos obtenidos por otros métodos (índice de agresividad del clima y ecuación universal de predicción de la erosión). Los autores demuestran la fiabilidad del método utilizado y cuantifican la pérdida anual de capacidad de los embalses.

SUMMARY

VALUATION OF EROSION AND REFILLING OF DAMS IN THE HYDROGRAPHICAL SEGURA BASIN. The intensity of erosion in the Segura river basin has been estimated according to the volume of the dams and has been compared with data from other methods (index of climate aggressiveness and universal Soil-Loss Equation). The authors show the security of the method they have used and quantify the annual loss of the capacity of the dams.

1. Introducción

El agua constituye el agente erosivo más común del sistema morfoclimático mediterráneo actual, pero la evaluación cuantitativa de sus efectos ha estado siempre limitada a pequeñas áreas de estudio,

* Departamento de Geografía Física. Facultad de Letras. Universidad de Murcia.

** Comisaría de Aguas de la Cuenca del Segura. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Murcia.

dada la complejidad del fenómeno erosivo, donde intervienen, como es sabido, numerosas variables hidrológicas, pluviométricas, geomorfológicas, topográficas, de vegetación, etc., que impiden la extensión de sus cifras a grandes cuencas; al menos con un grado de aproximación aceptable, dado que los parámetros que controlan los procesos erosivos varían según una escala espacio-temporal. Sin embargo, diversos estudios estadísticos basados en análisis multivariados ponen de manifiesto que en la tasa global de erosión, son los parámetros de orden pluviométrico e hidrológico los predominantes en regiones semiáridas, como la de nuestro estudio.

Por otra parte, al carecerse de medidas continuas de caudales sólidos, se pierde el registro de los arrastres ocasionados por las más intensas lluvias de la región, principal factor de la erosión hídrica.

La incertidumbre de los valores obtenidos, la escasez de éstos e incluso el corto espacio temporal que cubren hasta alcanzar series históricas de fiable extrapolación, y la confusión que existe en cuanto a su calidad y valor interpretativo, nos inclinan a utilizar otra forma de aproximación a la estimación cuantitativa de la erosión producida por el agua, que no por indirecta es menos exacta que las anteriormente citadas.

2. Rasgos morfoestructurales de una gran diversidad

Una cuenca fluvial funciona como un sistema en el que los distintos componentes están interrelacionados; desde la perspectiva del análisis de los procesos erosivos, puede considerarse como un espacio morfológico en el cual la energía potencial de los relieves de la cuenca de drenaje se va degradando por transformación en energía cinética, proceso geomorfológico con tendencia a transformar el relieve en una superficie isopotencial o penillanura; los materiales resultantes, tras la intervención de variados sistemas de transporte, van a ser depositados en cuencas de sedimentación. La construcción de embalses en determinados puntos del trazado del río, va a originar la disección del curso fluvial y la aparición de zonas de sedimentación en donde van a acumularse grandes cantidades de materiales sólidos en función de las características morfoestructurales, climáticas e hidrológicas de la cuenca de drenaje. Estos rasgos, para la Cuenca del Segura son los siguientes (Fig. 1):

La cuenca hidrográfica abarca una superficie de unos 18.630

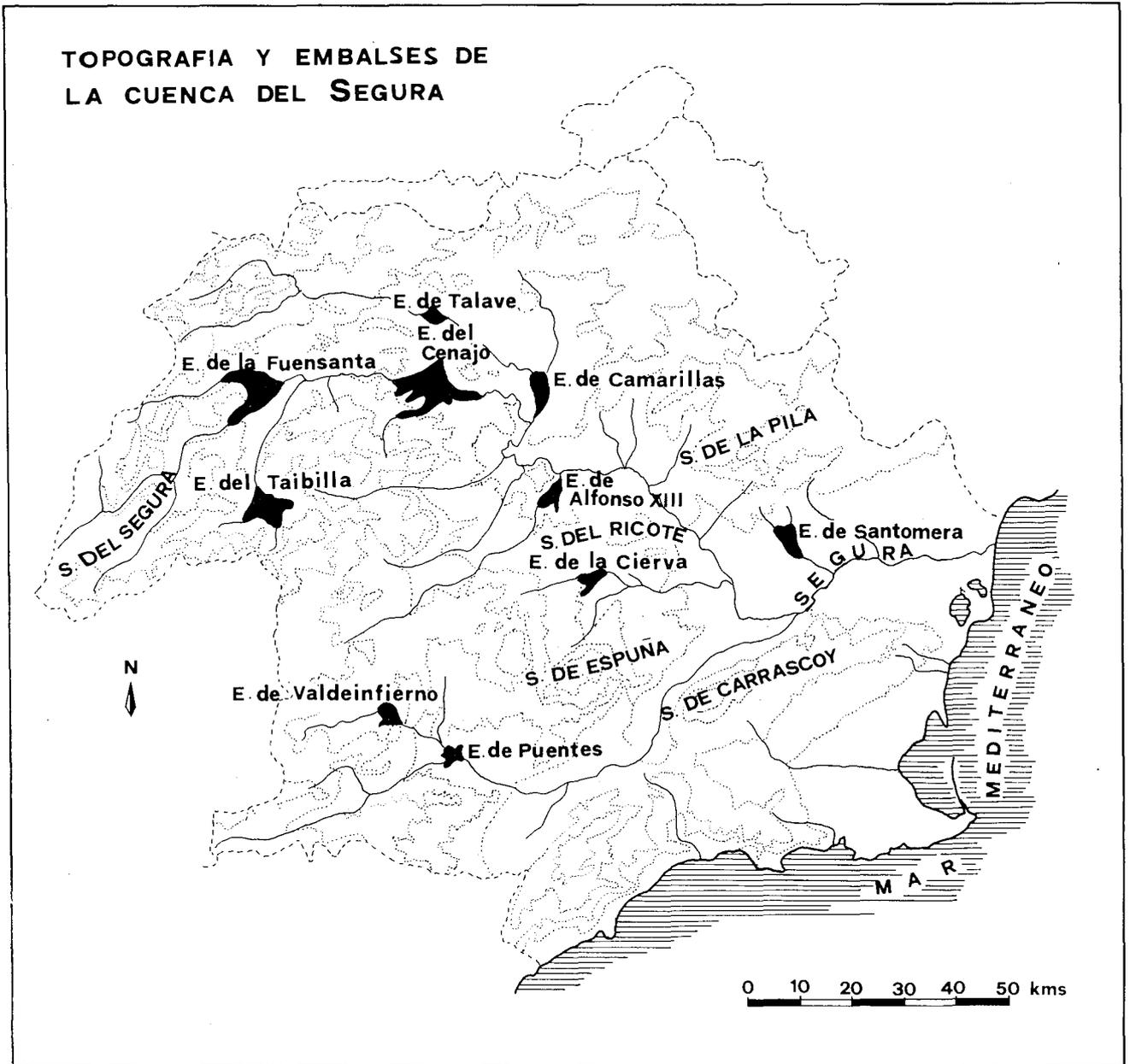


FIG. 1

Km² y comprende casi la totalidad de la provincia de Murcia, buena parte de la de Albacete y sectores más o menos extensos de las provincias de Alicante, Almería, Jaén y Granada. Por su posición, constituye un magnífico corte transversal de las cordilleras Béticas.

La franja septentrional pertenece al dominio morfoestructural *Prebético*, formado por series sedimentarias que van desde el Trías al Terciario, caracterizadas por facies neríticas o continentales. Litológicamente comprende flyschs arcilloso-calizos, calizas masivas, dolomías, carniolas, margas, etc. Las sierras de este dominio presentan unas estructuras laxas, con buzamientos que rara vez sobrepasan los 35°. El *Subbético*, ocupa todo el sector central de la cuenca y cabalga ampliamente sobre el Prebético. Dolomías y calizas jurásicas configuran el armazón resistente de las variadas estructuras plegadas de las sierras. Entre éstas, margas y molasas miocénicas han colmatado las áreas deprimidas. Todo el sector meridional de la cuenca lo ocupa el *Bético*, caracterizado por una impresionante estructura de mantos de corrimiento, cabalgamientos y apilamiento de capas. Este conjunto morfoestructural está constituido por materiales paleozoicos, mesozoicos y paleógenos, tanto más metamorfizados en sentido N-S. Calizas, dolomías, conglomerados, cuarcitas, micaesquistos, pizarras y materiales volcánicos forman el armazón de las sierras. Estas se hallan a la vez envueltas por terrenos neógenos y cuaternarios sobre los cuales se han desarrollado llanuras y variadas formas de erosión y acumulación.

En conjunto, el territorio de la cuenca es bastante montañoso y accidentado, sobre todo los sectores N y W; aquí las sierras sobrepasan muy frecuentemente los 1.500 m. y en ocasiones hasta los 2.000, formando una robusta dorsal que separa la Cuenca del Segura de la del Guadalquivir a la vez que introduce importantes cambios bioclimáticos, ya que casi toda la cuenca segureña se halla al abrigo de este alto bastión topográfico.

Los altiplanos se extienden por el N y NE y constituyen un elemento morfológico característico del paisaje. Por el centro de la cuenca, las mesetas, altas llanuras y corredores intramontanos separan las sierras que registran altitudes máximas en torno a los 1.500 m. Por el S, sierras que rara vez sobrepasan los 1.000 m. encuadran las bajas tierras de depresiones y llanuras prelitorales y costeras. Sin embargo, las pendientes son muy fuertes y dan lugar sobre los desnudos suelos, a rápidas escorrentías que abarrancan las vertientes.

La Cuenca del Segura está, pues, caracterizada por la presencia de sierras de notable altitud y empinadas vertientes que encuadran altiplanos, cuencas, valles y amplias depresiones colmatadas por materiales blandos muy sensibles a los mecanismos de erosión. Los sistemas morfoclimáticos que se han sucedido desde el Plioceno, Cuaternario y Actual, han esculpido las montañas y modelado llanuras y depresiones en un sistema de glaciares escalonados que dominan los valles aluviales. Los excavados y abarrancamientos son formas de erosión violenta omnipresentes en todo el territorio central y meridional de la cuenca. Los sistemas morfoclimáticos mediterráneos recientes y actual en esta región, son los responsables directos de estas manifestaciones de erosión acelerada.

Las pendientes medias de las cuencas alimentadoras de los embalses que se analizan más adelante son:

Talave	8,9%
Fuensanta	9,1%
Argos	11,4%
La Cierva	13,5%
Valdeinfierno	8,9%
Alfonso XIII	9,1%
Camarillas	4,9%
Puentes	6,4%

3. Datos pluviométricos

El encuadre montañoso de la orla noroccidental, origina una situación de abrigo de casi todo el territorio de la cuenca respecto a la mayor parte de las perturbaciones de origen atlántico; por ello existe una acusada degradación pluviométrica desde las subhúmedas montañas del NW con más de 800 mm. de media anual, a las depresiones centrales con precipitaciones medias del orden de los 300, y a los subdesérticos sectores litorales con menos de 250 mm.

La isoyeta de los 800 mm. abraza a tan sólo el 7,6% del territorio de la cuenca —poco más de 500 Km²—, mientras que los sectores que reciben menos de 300 mm. al año cubren una superficie que supera los 9.000 Km², lo que viene a representar prácticamente la mitad de la cuenca. Pero además de la indigencia pluviométrica y desigual distribución espacial, la irregularidad es muy acusada, los coeficientes de variabilidad son por todas partes superiores al

30%, comparables a los valores observados en los dominios semiáridos e incluso áridos de los bordes meridional y oriental de la cuenca mediterránea.

Los períodos lluviosos son breves, por lo general no se alargan más allá de 3 ó 4 días, y frecuentemente la intensidad horaria de las precipitaciones es importante, 5-10 mm./hora. Este rasgo, unido a las fuertes pendientes, geomorfología, naturaleza de los suelos y escasa cobertura vegetal de la cuenca, van a originar escorrentías superiores al 15% impulsoras de vigorosos arroyamientos que desmantelan las vertientes y transportan grandes cantidades de materiales sólidos; éstos van a depositarse en los fondos de valles y en los embalses construidos sobre el Segura y principales afluentes. El balance hídrico anual medio de la Cuenca del Segura, se expresa en la fig. 2.

4. Los reconocimientos batimétricos de embalses

Aunque no se haya tenido la oportunidad de efectuar las medidas deseables sobre la erosión, la existencia de embalses en una cuenca supone un adecuado recipiente donde los materiales arrancados por los procesos erosivos aguas arriba de él se han ido acumulando. No tendremos un registro continuo pero sí la integral o suma de los sedimentos desde el momento de construcción de la presa hasta el de la medida batimétrica efectuada. La principal ventaja es que estamos seguros de que los desmantelamientos de vertientes producidos por todas las avenidas de ese período estarán incluidos en los valores obtenidos, lo que nos proporcionará una aproximación real de la erosión que no tienen los datos conseguidos por otros métodos.

Afortunadamente, la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, a través del Centro de Estudios Hidrográficos, viene efectuando desde 1967 un plan sistemático de reconocimientos batimétricos de embalses, cuyos resultados constituyen una fuente valiosísima para la estimación que pretendemos.

En concreto, en la cuenca del Segura se dispone de estos datos en 8 de los 13 embalses existentes, aunque hasta el presente sólo se ha efectuado (o, al menos, publicado) una medida en ellos. Esperamos contribuir a que el valor de estos datos sea apreciado como una cuantificación de la erosión de la cuenca y de los problemas que esto acarrea, más aún que como estimación de la vida útil que

**RECONOCIMIENTOS BATIMETRICOS DE LOS EMBALSES DEL SEGURA
(C.E.H.)**

Embalse	Río	Volumen embalse (Hm ³)				Pérdida capacidad (5) = (1) - (3) C (Hm ³)	Años transcurridos (6) = (4) - (2) n	Pérdida anual (7) = C/n = — Hm ³ /año	Superficie cuenca S (Km ²) (8)	Erosionabilidad = $\frac{(7)}{(8)}$		
		(1) Inicial	(2) Año	(3) Actual	(4) Año					m ³ /Ha. y año (9)	mm/año	Ton/Ha. y año (10) = 2,5 x (9)
Talave	Mundo	55	1918	34	1976	21	58	0,36	754	4,77	0,47	12,—
Fuensanta	Segura	235	1933	205	1977	30	44	0,68	1.218	5,60	0,56	14,—
Argos	Argos	11,72	1970	11,14	1976	0,58	6	0,096	500	1,92	0,19	4,8
La Cierva	Mula	7	1929	5,0	1976	2	47	0,042	156	2,69	0,27	6,7
Valdeinfierno	Guadalentín	25	1897	14,19	1976	10,81	79	0,137	311	4,40	0,44	11,—
Alfonso XIII	Quípar	42	1916	21,65	1976	20,35	60	0,339	834	4,06	0,41	10,2
Camarillas	Mundo	40	1960	36,51	1977	3,49	17					
						(considerado aislado)		0,205	1.636	1,25	0,13	3,1
Puentes	Guadalentín	31,56	1884	13,88	1976	17,68	92					
						(considerado conjuntam. Talave)		0,565	2.390	2,36	0,24	6,—
						(considerado aislado)		0,192	1.078	1,76	0,18	4,4
						(considerado conjuntam. Valdeinfierno)		0,329	1.389	2,37	0,24	6,—
VALORES TOTALES.....								2,05	6.487			
VALORES MEDIOS.....										3,16	0,32	7,9

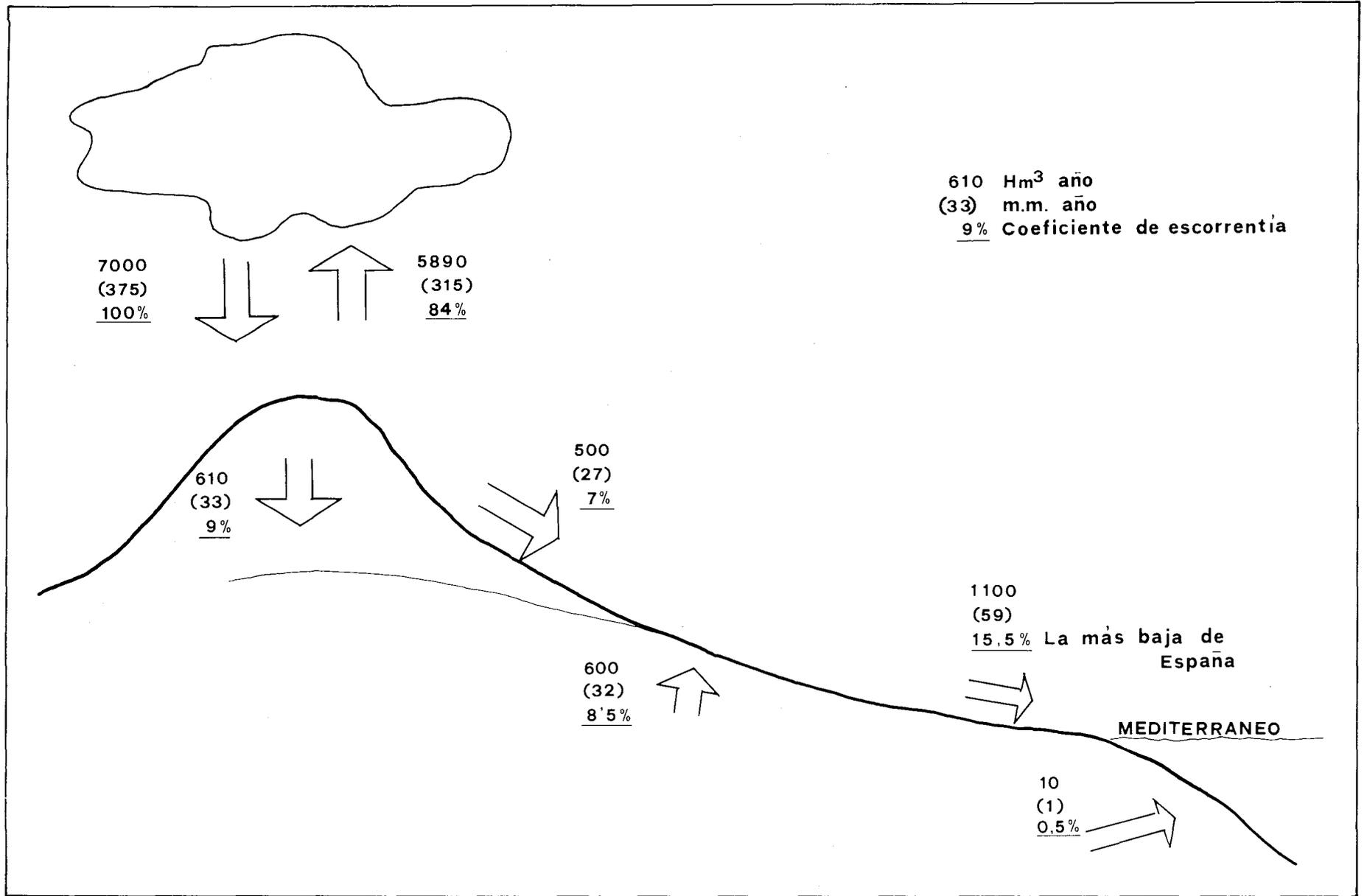


FIG. 2

Balace anual medio de la cuenca del Segura ($S = 18.630 \text{ km}^2$). Dado que la lluvia es el 60 % y la escorrentía el 44 % de las medias peninsulares, los recursos medios son el 26,5 % de los que corresponderían por km^2 .

le resta al embalse, concepto caduco que no refleja suficientemente la gravedad del problema erosivo.

5. El aterramiento de los embalses de la cuenca del Segura.

En el cuadro adjunto se resumen los principales valores obtenidos de los reconocimientos efectuados en los embalses de esta cuenca.

Conviene hacer unas apreciaciones a dichos valores:

1.º) Estos valores deben considerarse como límites inferiores de la erosión, ya que:

a) Los arrastres de fondo que puedan movilizarse en las avenidas no suelen alcanzar los embalses al disminuir en la entrada o cola de éstos la velocidad del agua y depositarse allí. Sería necesario una comprobación sobre el campo, que no hemos realizado, para apreciar si están o no incluidos en la restitución volumétrica realizada por el Centro de Estudios Hidrográficos.

b) No descartamos que, a lo largo de su explotación, alguno de los embalses haya "desagüado fondos" por las compuertas de fondo, disminuyendo los sedimentos retenidos. Sería necesario repasar su explotación a la búsqueda de esta circunstancia e intentar su evaluación.

2.º) Suponen una estimación aceptable ya que la valoración de la erosión por medio de la integración de los materiales en suspensión, determinada por los análisis de muestras periódicas de agua, conduce a cifras ridículas, prácticamente despreciables.

Así en la estación "Azaraque" sobre el río Mundo a la entrada del embalse de Camarillas, durante el año hidrológico 1979-80 se detectaron unas 7.000 Tm. en suspensión, que sólo representan el 1,4% del total aportado al embalse como media anual.

3.º) Los valores obtenidos para el embalse de Fuensanta, el más alto de los 8 embalses estudiados, pueden provenir de movimientos en masa de las laderas del vaso y por tanto no atribuibles totalmente a la erosión de la cuenca receptora.

6. Comparación con otros métodos de estimación de la erosión

Parece interesante comparar los valores deducidos de los reconocimientos batimétricos con los obtenidos por otros métodos y para ello nos serviremos de los calculados en 1977 dentro del "Plan General de Defensa de Avenidas de la Cuenca del Segura".

En el cuadro adjunto pueden verse las degradaciones específicas por:

- a) Reconocimiento batimétrico de los embalses.
- b) Aplicación del índice de agresividad del clima (dependiente de la precipitación), teniendo en cuenta la orografía y el clima (según Turc).
- c) Aplicación de la ecuación universal de predicción de la erosión.

De la comparación de los tres métodos pueden extraerse las siguientes reflexiones:

1.^a) El primer método corresponde a una medida real, aunque con las limitaciones señaladas en el apartado anterior, mientras que los dos restantes son valores teóricos deducidos a partir de variables geográficas.

2.^a) Existe una evidente similitud entre los valores obtenidos por los dos primeros procedimientos, aún más sorprendente por la tan diferente metodología de ambos, que hemos señalado anteriormente. La máxima disparidad se produce en la cuenca del río Argos pero es perfectamente explicable, en nuestra opinión, ya que al ser un embalse reciente (solamente llevaba 6 años construido cuando se realizó el reconocimiento batimétrico) los sedimentos acumulados en él no pueden considerarse representativos de la erosión media de su cuenca. Los embalses de La Cierva y Puentes, con valores muy diferentes pueden deberse a que han desaguado "fangos", lo que convendrá investigar junto con otras posibles causas geográficas (p.e. en la precipitación de Puentes está incluida la del año 1973, de período de retorno milenario, que caso de suprimirse haría descender a 17 Ton/Ha. y año la degradación obtenida mediante el índice de agresividad del clima).

3.^a) La ecuación universal de predicción de la erosión da valores muy altos, claramente separados de los dos anteriores métodos. Estimamos que son excesivos, posiblemente debido a que dicha

COMPARACION ENTRE METODOS DE ESTIMAR LA EROSION

(Ton/Ha. y año)

Embalse	Reconocimiento Batimétrico (a)	Indice de agresividad del clima (b)	Ecuación Universal de la erosión (c)	Observaciones
Talave	12	11,6	47,5	
Fuensanta	14	19,2	40,9	
Argos	4,8	14,1	69,4	
La Cierva	6,7	15,1	50,4	
Valdeinfierno	11	18,3	48,2	
Alfonso XIII	10,2	12,7	27,1	
Camarillas	6	9,7	44,4	(incluyendo Talave)
Puentes	6	19,5	44,6	(incluyendo Valdeinfierno)

fórmula debe aplicarse a verdaderos suelos, lo que no es el caso de las cuencas áridas como la muestra. No obstante, son valores que podrían alcanzarse si la acción antrópica se acentuase, por ejemplo, por una inadecuada roturación.

4.^a) La comparación es sumamente fácil para el embalse del río Argos, ya que aunque el reconocimiento batimétrico parece atribuirle poco peligro de aterramiento, los valores obtenidos por los otros dos métodos predicen que éste se incrementará con el tiempo, incluso que es el que, entre todos los embalses, posee una cuenca con mayor peligro de erosionabilidad.

5.^a) Como hemos visto anteriormente, la estimación de la erosión por aforo de sólidos es claramente insuficiente, al menos con los sistemas actuales.

7. Comparación con otras cuencas

También nos ha parecido conveniente comparar los valores obtenidos en la cuenca del Segura con los de otras cuencas. Para ello hemos utilizado los resultados conseguidos por el ICONA que se publicaron en el "Informe General sobre el medio ambiente en España", estimados a partir del índice de agresividad del clima, es decir igual que el método b) del apartado anterior.

Aunque no podemos reproducir todos los resultados que allí se publican, es interesante deducir algunas conclusiones:

1.^a) Observando las cifras de la cuenca del Segura pueden apreciarse dos hechos:

1.a) La similitud entre los valores de la degradación específica por el índice de agresividad del clima (casi todos entre 10 y 20 Ton/Ha. y año) de las dos publicaciones citadas, aunque con diferencias puntuales muy acusadas.

1.b) La disparidad entre los valores del reconocimiento batimétrico allí publicados y los deducidos por nosotros en este artículo, más cercanos a los del método anterior, como ya hemos mantenido.

2.^a) Las cuencas de embalses con una degradación específica muy elevada son, en general, de extensión pequeña.

Con más de 40 Ton/Ha. y año y 300 Km² sólo se encuentran las siguientes:

EROSION Y ATERRAMIENTO DE EMBALSES

Cuenca	Embalse	Río	Ton/Ha. y año	Superficie Km ²
Duero	(Ninguno)			
Tajo	Ramos Bajo	Sorbe	43	439
Tajo	Torrejón	Tiétar	52	4.450
Guadiana	(Ninguno)			
Guadalquivir	Retortillo	Retortillo	50-66	323
Guadalquivir	Pintado	Viar	49	1.400
Guadalquivir	Minilla	Rva. Huelva	43	965
Guadalquivir	Cala	Rva. de Cala	40	535
Sur	(Ninguno)			
Segura	(Ninguno)			
Júcar	Tous	Júcar	45	17.470
Júcar	Regajo	Palancia	56	475
Júcar	Cirat	Mijares	63	1.806
Júcar	Sichar	Mijares	47	2.487
Júcar	M. ^a Cristina	La Viuda	47	1.479
Ebro	(Ninguno)			
Pirineo O.	(Ninguno)			

3.^a) Los valores estimados de la erosión varían enormemente según la fuente original de los datos. Así la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir afirma que sólo son preocupantes los arrastres en la margen izquierda del Guadalquivir (los cuatro afluentes citados en la conclusión anterior lo son por la derecha) y en especial el Guadiana Menor con 50 Ton/Ha. y año (mientras que en el "Informe General" citado aparece solamente con una degradación específica de 11 Ton/Ha. y año).

8. Perjuicios de los aterramientos

La pérdida de capacidad de los embalses ocasiona una pérdida de posibilidad de regulación, que en los 8 casos estudiados del Segura suponen anualmente:

	Pérdida (Hm ³) capacidad	Relación regul./capacidad	Pérdida regula- ción (Hm ³ /año)
Talave	0,36	1,91	0,69
Fuensanta	0,68	1,00	0,68
Argos	0,096	0,38	0,04
La Cierva	0,042	0,40	0,02
Valdeinfierno	0,137	0,42	0,06
Alfonso XIII	0,339	0,57	0,19
Camarillas	0,205	1,28	0,26
Puentes	0,192	0,77	0,15
Total	2,05		2,09

Esto significa que debido a la pérdida anual de unos 2 millones de m³ de capacidad, se pierde cada año la posibilidad de suministrar 2 millones de m³ de agua (la coincidencia es, como hemos visto, fortuita, debido a que la relación media entre regulación y capacidad por el conjunto de embalses considerados es prácticamente la unidad).

Esto representa la necesidad de elegir una de las tres opciones siguientes:

a) Reponer la capacidad perdida, lo que significa construir un embalse de unos 40 Hm³ cada 20 años. Como los últimos realizados (Cenajo y Camarillas) lo fueron en 1960 es necesario, pues, construir ya uno similar al Camarillas o Talave para mantener los regadíos actuales.

b) Eliminar cada año el número de hectáreas de riego que no tendrían garantía de suministro. Considerando unos 5.000 m³ por Ha. y año de valor medio, obtenemos que es necesario eliminar unas 400 Has. anuales.

c) Soportar entre toda la superficie de riego la pérdida de regulación ocasionada, mediante una menor dotación. Ello supondría una reducción del 0,6% anual en las dotaciones previstas, lo que de alguna forma compensaría la mejora obtenida con la introducción en la cuenca de sistemas de riego más eficaces.

Es indudable que la solución elegida ha sido, inconscientemente,

la tercera pero ésta no puede prolongarse indefinidamente (en los últimos 20 años la reducción alcanzaría ya el 12%).

La no elección de algunas de estas tres opciones conduciría inevitablemente a la provocación de un período de restricción cada 18 años aproximadamente (recuérdese que al no disponerse de los datos del embalse del Cenajo, las cifras estimadas pueden estar sometidas a una importante corrección, resultado de la gran influencia de ese hiperembalse en la regulación de la cuenca del Segura).

BIBLIOGRAFIA

- CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS. *Sedimentación, reconocimiento batimétrico del embalse de Talave*. Julio 1976.
- (Idem) *Fuensanta*. 1977.
- (Idem) *Argos*. 1976.
- (Idem) *La Cierva*. 1976.
- (Idem) *Valdeinfierno*. 1976.
- (Idem) *Alfonso XIII*. 1976.
- (Idem) *Camarillas*. 1977.
- (Idem) *Puentes*. 1976.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. *Análisis de Calidad de Aguas*. Año 1979-80.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO - AHINCO. *Plan General de Defensa de Avenidas de la Cuenca del Segura* (tomo IX) 1977.
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. *Informe General sobre el Medio Ambiente en España*. 1977.
- PALANCAR, M. y RUS, M.: El Plan General de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. *Revista de Obras Públicas*. Junio 1981.