

# Transporte de sedimentos en suspensión en la parte baja del río Ebro (Mediterráneo Occidental). Impacto ambiental de las presas

*Suspended sediment transport in the lower course of the Ebro river (Northwestern Mediterranean). Dams impact in the environment*

A. Palanques y J. Guillén

Instituto de Ciencias del Mar, Paseo Nacional s/n. Barcelona 08039

## ABSTRACT

Seven surveys were carried out to study the suspended sediment transport in the lower course of the Ebro River. Damming of the river and its tributaries has caused a high retention of the sediment load and has regulated the fluvial discharge. At present sediment discharge is less than 1% of the sediment that the Ebro River discharged into the sea before the construction of the dams.

**Key words:** *Suspended sediment, Dams, Mediterranean river, sediment discharge, water discharge.*

## RESUMEN

Se realizaron siete campañas para estudiar el transporte de sedimento en suspensión en el curso bajo del río Ebro. La mayor parte de la carga sedimentaria del Ebro queda retenida en las presas construidas a lo largo de este río y sus afluentes, que además también regulan su caudal. Actualmente este río descarga al mar menos del 1% de sedimento que descargaba antes de la construcción de las presas.

**Palabras clave:** *Sedimento en suspensión, Presas, Río mediterráneo, descarga de sedimento, caudal.*

*Geogaceta*, 12 (1992), 37-40.  
ISSN: 0213683X

## Introducción

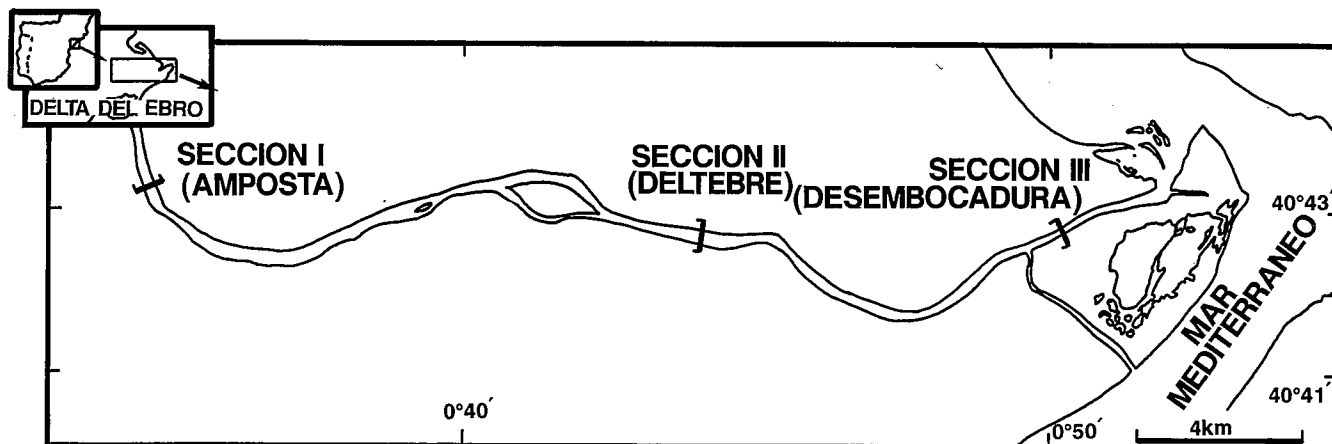
La carga en suspensión transportada por un río depende: 1) del relieve, de la extensión y de la geología de la cuenca de drenaje, 2) del caudal, del clima y de la vegetación, 3) de la presencia de lagos a lo largo de su curso (Milliman, 1980). El Ebro es

uno de los ríos más importantes de la cuenca mediterránea occidental, con una longitud de 928 km. y una cuenca de drenaje de 85.835 km<sup>2</sup> de extensión. Este río ha desarrollado un delta cuya superficie es de 325 km<sup>2</sup>, uno de los mayores del mediterráneo occidental. El delta del Ebro ha experimentado una rápida progradación du-

rante los últimos siglos, debido a la intensa deforestación que ha tenido lugar en su cuenca de drenaje a partir del siglo XV (Maldonado, 1972), que ocasionó el aumento de los aportes sedimentarios transportados por el río. Para conocer el sedimento transportado en suspensión por el Ebro en la actualidad se han realizado 7 cam-

Fig. 1.—Mapa de localización de las tres estaciones de muestreo en el curso bajo del río.

Fig. 1.—Location map showing the location of the three sampling stations in the lower part of the Ebro River.



pañías, en las que se ha medido sistemáticamente el perfil vertical de concentración de materia en suspensión y el perfil vertical de corriente, en tres estaciones de la parte baja del río, situadas entre Amposta y la desembocadura (Fig. 1).

**Estimación de la carga y del transporte en suspensión**

Varias de las características de la cuenca hidrográfica del Ebro favorecen la existencia de una alta concentración de sólidos en suspensión en las aguas de este río. Entre estas cabe destacar: 1) el pronunciado relieve en la cabecera en sus afluentes pirenaicos, que experimentan además fuertes crecidas cuando la nieve del invierno se funde. 2) la existencia de grandes extensiones de terreno deforestado, que en algunas zonas es fácilmente erosionable. 3) las intensas precipitaciones que afectan esporádicamente a gran parte de su cuenca de drenaje. Es importante resaltar la relación entre carga en suspensión y carga de fondo. En ríos con las características del Ebro, entre un 90 y un 98% de los aportes sedimentarios descargados al mar son transportados en suspensión (Emett, 1984).

La concentración de sólidos en suspensión en ríos similares al Ebro, como es el caso de algunos ríos californianos, oscila entre 290 y 3.000 mg/l. (Janda y Nolan, 1979). De acuerdo con las curvas de descarga de estos ríos, el Ebro debería descargar al mar del orden de 20 millones de toneladas anuales de sedimento en suspensión. Teniendo en cuenta que los caudales medios calculados durante períodos representativos de la primera mitad del siglo XX, son del orden de unos 600 m<sup>3</sup>/s. (Maldonado, 1986), la descarga fluvial media durante este intervalo de tiempo ha sido unos 19 × 10<sup>10</sup> m<sup>3</sup>/año. Según estas cifras, la concentración media de sólidos en suspensión en el río debería ser alrededor de unos 1.000 mg/l. Sin embargo, las concentraciones que se han medido durante este estudio presentan una media de 15 mg/l. Dichos datos permiten estimar una descarga media de material en suspensión inferior a 200.000 T/año. Esto significa que los aportes sólidos actuales representan tan solo el 1% de los aportes que teóricamente debería descargar un río de estas características al mar.

Tabla 1.—Caudales y valores mínimos, medios y máximos de concentración de materia en suspensión durante las campañas realizadas.

Table 1.—Water discharge, minimum medium and maximum values of suspended sediment concentration measured during the surveys.

Campaña (época)	Caudal (m. <sup>3</sup> /s)	Concentración de materia en suspensión (mg./l.)								
		Amposta			Deltebre			Desembocadura		
		mín.	máx.	med.	mín.	máx.	med.	mín.	máx.	med.
Mayo 88	675	14.9	21.3	17.3	7.5	25.0	15.8	15.1	35.1	21.3
Septiembre 88	230	5.4	44.6	16.2	12.7	22.7	18.7	7.7	23.7	16.8
Enero 89	210	4.9	19.0	10.0	6.0	16.0	10.7	4.9	12.5	7.4
Julio 89	110	11.5	41.3	20.6	10.9	35.2	21.0	7.1	12.6	9.8
Octubre 89	150	8.6	16.1	11.1	7.2	12.5	10.8	7.5	10.0	9.8
Enero 90	165	8.4	15.7	13.4	8.6	11.7	9.8	7.8	10.2	9.3
Febrero 90	200	9.3	20.5	12.1	8.9	14.9	12.0	5.8	11.0	7.8

En contraste con las medidas realizadas entre 1988 y 1990, los datos tomados a finales del siglo pasado y principios del actual (Gorria, 1880; Carreras, 1911; Bayerri, 1934-35) confirman que, en aquel tiempo, la concentración y la descarga de sólidos en suspensión eran del orden de los valores teóricos. En concreto, la concentración de sedimento en suspensión oscilaba entre 700 y 1.700 mg./l. y podía incluso superar los 10.000 mg./l. durante épocas de avenida. Conociendo el caudal medio del río en esos años, es posible estimar que la descarga anual entre finales del siglo pasado y principios del actual se situaba entre 17 y 25 millones de toneladas, lo que indica que actualmente el Ebro aporta menos del 1% de los sedimentos que descargaba a principios de siglo.

**El impacto ambiental de las presas y del uso del agua por el hombre**

Así pues, los aportes sólidos del río Ebro han sufrido un brusco descenso durante el siglo XX. La razón fundamental ha sido la construcción de numerosas presas a lo largo de su cauce y del de sus afluentes (Fig. 2). La tabla 2 muestra la brusca disminución de aportes que se produce sobre todo a partir de la construcción de presas de una cierta embergadura, en los años cuarenta y cincuenta. La mayor de las presas, Mequinenza, fue construida junto a la de Ribarroja cerca de la desembocadura, en los años sesenta. Sin embargo, la retención en las presas construidas anteriormente río arriba era ya muy importante, y Mequinenza y Ribarroja no hicieron más que incrementar todavía más la

Fig. 2.—Cuenca de drenaje del río Ebro y localización de las presas principales.

Fig. 2.—Drainage basin of the Ebro River and location of the main dams.

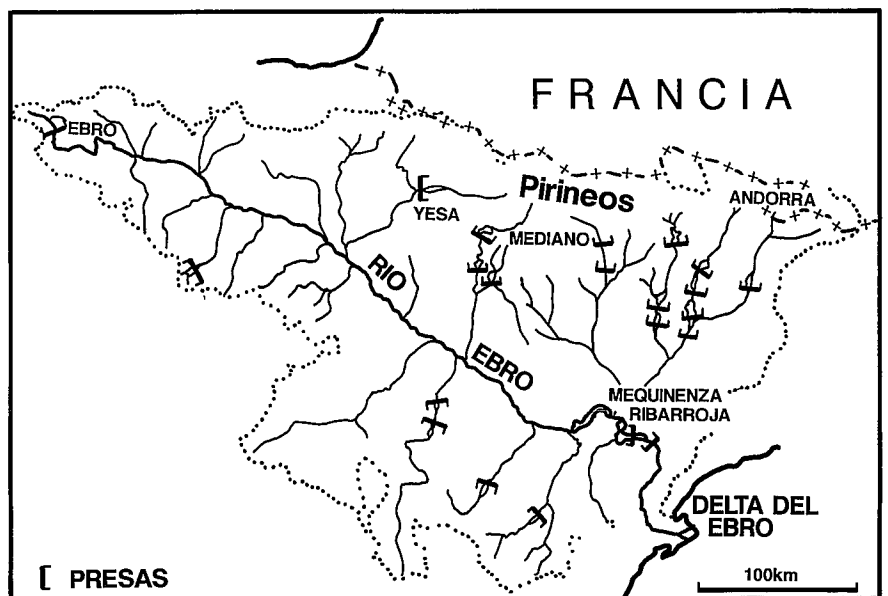


Tabla 2.—Año de construcción y capacidad de las presas principales situadas en la cuenca del Ebro, junto con datos históricos de los aportes de sedimento en suspensión durante este siglo.

Table 2.—Year of construction and capacity of the main dams located in the Ebro drainage basin, along with historical data of suspended sediment discharge of this river during the last century.

Año	Presa	Capacidad (Hm <sup>3</sup> )	Apor. sed. (t/año × 10 <sup>6</sup> )	Procedencia
1880	—	—	25	Gorria (1880)*
1906-30	varias	0.3-200		
1911	—	—	17	Carreras (1911)*
1934	—	—	14	Bayerra (1934-35)
1940-50	varias	50-200		
1946	Ebro	540		
1959	Yesa	470		
1962	—	—	2.2	Catalán (1969)
1966	Mequinenza	1.000		
1968	Mediano	436		
1969	Ribarroja	136		
1983-86	—	—	0.15	Palanques (1990)
1988-90	—	—	0.12	este estudio.

retención de sedimentos, reduciendo la descarga de aportes sólidos al mar a una cantidad relativamente insignificante. En el caso concreto del complejo Mequinenza-Ribarroja, se ha calculado que retienen más del 75% de material en suspensión que reciben de sus tributarios (Varela, 1986; Palanques, 1990). Aunque estas dos presas serían las que tendrían un mayor impacto en el sistema por su situación y tamaño, la fuerte reducción de los aportes no se debe tan solo a la acción de una presa en concreto, sino a la retención acumulativa en cada una de las presas construidas a lo largo de la red hidrográfica del Ebro.

Otro factor que ha contribuido a la reducción de los aportes sedimentarios ha sido la tendencia a la disminución del caudal fluvial. El caudal medio anual del río Ebro ha sido muy irregular durante este siglo (Fig. 3), en el que si bien han habido algunos períodos con altos valores, la tendencia general ha sido decreciente. Este descenso puede ser atribuido al aumento del consumo de agua para usos domésticos agrícolas e industriales y quizás también a cambios climáticos.

Otro de los efectos de las presas que no queda claramente reflejado en las medias anuales, es el efecto regulador que ejercen sobre el caudal del río. La regulación del caudal impide que se produzcan muchas de las crecidas que tenían lugar antaño, durante las que el transporte de sedimentos se incrementaba considerablemente. Así, antes de la construcción de las presas,

se producían avenidas que podían superar los 3.000 m<sup>3</sup>/s., durante las que la descarga de sedimento podía aumentar hasta más de un millón de toneladas diarias. En la actualidad, las avenidas tienen menor magnitud y se producen con mucha menos frecuencia. Después de una época de sequía, las crecidas de los ríos se aprovechan para recuperar los niveles de los embalses y sus efectos llegan muy atenuados a la parte baja del río, donde sólo se producen aumentos importan-

tes de caudal cuando se rebasan los niveles máximos de seguridad de los embalses. Por el contrario, los caudales mínimos son mayores actualmente, que los que tenían lugar con anterioridad a la construcción de las presas, aunque este hecho no repercute en un aumento de la descarga de material sedimentario.

La drástica disminución de los aportes sedimentarios afecta a la plataforma y a la zona costera. En la plataforma continental hay un extenso prodelta formado por la rápida acumulación de sedimento fino aportado por el Ebro durante el cuaternario (Díaz *et al.*, 1990). La retención de los aportes supone una interrupción en su desarrollo y el paso del predominio de los procesos deposicionales al predominio de los procesos de resuspensión, sobre este cuerpo sedimentario.

La carga de fondo del río también es mayoritariamente retenida en los embalses. Así pues, el aporte de arenas procedentes del río también ha disminuido drásticamente y los procesos marinos, sobre todo el oleaje, son los que actualmente dominan la evolución costera del delta. Actualmente se realizan estudios para predecir la evolución que seguirá el delta para adaptarse a las nuevas condiciones.

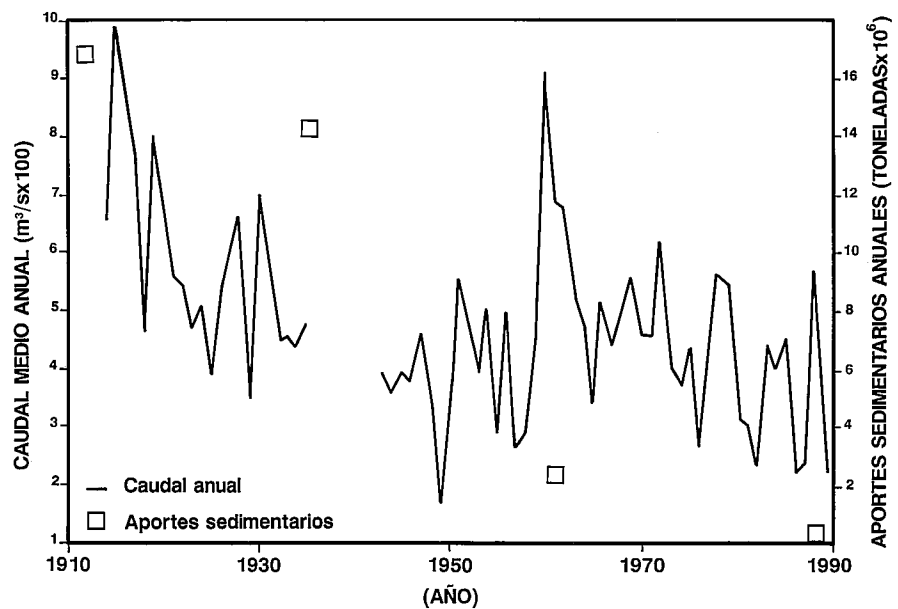


Fig. 3.—Caudal y aportes sedimentarios del río Ebro durante el siglo XX (datos de caudal procedentes de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Aportes de sedimentos calculados a partir de las referencias de la tabla 1).

Fig. 3.—Annual water and sediment discharge of the Ebro River during the 20th century (water discharge data from «Confederación Hidrográfica del Ebro». Sediment discharge estimated from references given in Table 1).

## Discusión y conclusiones

Las numerosas presas construidas a lo largo del río Ebro y sus afluentes y la disminución del caudal durante este siglo, han reducido los aportes sedimentarios en más de un 95%. El efecto de retención de las presas ha sido estudiado en otros ríos, pero una retención tan elevada sólo ha sido observada en el caso del Nilo, donde, como en el Ebro, también existe una gran presa situada cerca de la desembocadura, la presa de Assuan (Milliman and Meade, 1983; Shahin, 1985). De todos modos, muchos otros ríos del Mediterráneo están indudablemente afectados por el mismo problema, que es una de las principales causas de la regresión que están sufriendo muchas de nuestras playas.

## Agradecimientos

Agradecemos a Jordi Camp, José Ignacio Díaz y Marcel·li Farrán su colaboración y participación en los

trabajos de campo. También agradecemos al Dr. Maldonado el apoyo prestado. Este trabajo se ha realizado con el soporte de la «Direcció General de Ports i Costes de la Generalitat de Catalunya» en un convenio realizado entre el Laboratorio de Ingeniería Marítima (U.P.C.) y la Unidad de Geología Marina del Instituto de Ciencias de Mar (C.S.I.C.).

## Bibliografía

- Bayerni, E. (1934-1935). *Historia de Tortosa y su comarca*. Imprenta Moderna de Alguerri. vol. II y III.
- Carreras Candi, F. (1911). *Geografía General de Catalunya*. Edicions Catalanas, S. A.
- Catalán, J. G. (1969). *Química del agua*. Editorial Blume. 355 pp.
- Díaz, J. I., Nelson, C. H., Barber, J. Jr. & Giró, S. (1990). *Marine Geology*, 95, 333-352.
- Emett, W. W. (1984). En: *Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modelling*. R. F. Hadley y D. E. Walling eds., Geo Books, University Press, 91-109.

- Gorría, J. (1880). *Navegación y riegos en la región inferior del Ebro*. Imprenta la Guirnalda Madrid. 32 pp.
- Janda, R. & Nolan, K. M. (1979). En: *Guidebook for a field trip to observe natural and management-related erosion in the Franciscan terrain of northern California, Cordilleras Section*. San José. Geol. Soc of Am. pp. IV-1-IV-27.
- Maldonado, A. (1972). *Boletín de Estratigrafía*, 1, 478 pp.
- Maldonado, A. (1986). En: *El Sistema Integrado del Ebro: Cuenca, Delta y Medio marino*. M. G. Mariño, ed., Gráficas Hermes, 33-60.
- Milliman, J. D. & Meade, R. H. (1983). *J. Geology*, 91, 1-21.
- Palanques, A.; Plana, F. & Maldonado, A. (1990). *Marine Geology*, 95, 247-263.
- Shahin, M. (1985). En: *Hydrology of the Nile Basin*. Elsevier. 575 pp.
- Varela, J. M.; Gallardo, A. and López de Velasco, A. 1986. En: *El Sistema Integrado del Ebro: Cuenca, Delta y Medio marino*. M. Mariño, ed. Gráficas Hermes, 203-219.

Recibido el 30 de enero de 1992  
Aceptado el 21 de febrero de 1992

# Características hidroquímicas de las aguas termominerales de los Baños de Alhama de Murcia (Murcia)

## *Hidrochemical characteristic of the thermomineral waters of Baños de Alhama de Murcia (Murcia)*

J. C. Cerón García (\*) y A. Pulido Bosch (\*)

(\*) G.I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental. Dpto. de Geodinámica e IAGM. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada-CSIC. 18071 Granada.

## ABSTRACT

*The Baños de Alhama de Murcia waters are calcium-sodium-magnesium sulfhate types and have a high temperature (44-45 °C) and conductivity (3.800-4.000µ mhos/cm); with cluster and factorial analysis of variables the study is complemented. The fluoride, boron and lithium ions have a high concentration and the base temperatures range from 66 and 245 centigrades. The temperature and chemical composition of the water shows a thermic anomaly directly related with the tectonic activity in the area.*

**Key words:** *Hydrogeochemistry, termomineral waters, cluster and factorial analysis, neotectonic.*

*Geogaceta*, 12 (1992), 40-42.  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Los baños termales de Alhama (figura 1) se encuentran situados al suroeste de la provincia de Murcia, en el municipio de Alhama de Murcia y

dentro del casco urbano de la ciudad del mismo nombre. El conocimiento de la existencia de manantiales termales en el municipio y su utilización con fines termo-medicinales se remonta a la época romana (Baños *et al.*, 189).

Referencias sobre estudios relativos a estas aguas termales se pueden encontrar en García Mercadal (1952), Granda (1978) y en ITGE (1983).

En la actualidad el suministro de agua a los baños proviene de la ex-