

INCIDENCIA DE LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA EN EL TRANSPORTE SÓLIDO EN SUSPENSIÓN DEL RÍO EBRO

Montserrat Roura

Grupo de investigación FLUMEN
E.T.S. Ing. Caminos, Universitat Politècnica de Catalunya
montse.roura@upc.edu

Joan Armengol

Grupo de investigación FLUMEN
Facultad de Biología, Universitat de Barcelona

Fernando Jaime

Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza

Josep Dolz

Grupo de investigación FLUMEN
E.T.S. Ing. Caminos, Universitat Politècnica de Catalunya

Resumen: Uno de los procesos fluviales más directamente afectados por los embalses es el transporte de sedimentos. Para obtener estimas fiables de caudal sólido es necesario disponer de series continuas de datos, especialmente en ríos con régimen irregular como los de la Península Ibérica. En las últimas décadas, la mejora de los sistemas de recogida automática de muestras está contribuyendo notablemente al avance en el estudio del transporte sólido en suspensión. El presente trabajo se ha llevado a cabo en el tramo medio del río Ebro, entre Escatrón y Ribarroja. Se recogieron automáticamente muestras de agua para la determinación de la concentración de sólidos en suspensión y su composición (contenido orgánico e inorgánico) en el período comprendido entre noviembre de 1997 y septiembre de 1999. La retención en el embalse de Mequinenza fue del 95 %, muy superior a la del embalse de Ribarroja, 41 %. La calidad del material sólido en suspensión también se ve modificada por la presencia de los embalses: a la salida la fracción orgánica se incrementa considerablemente debido a la sedimentación diferencial de la fracción inorgánica y a la producción de fitoplancton en los embalses.

INTRODUCCIÓN

El transporte de sedimentos es un proceso esencial para los sistemas fluviales, así como para los ecosistemas costeros y marinos que reciben dicho material. Los procesos de sedimentación y erosión determinan la morfología de los ríos (Leopold *et al.* 1964) y por tanto el hábitat de las especies acuáticas y ribereñas (Klingeman y MacArthur, 1990). La progresión de la línea de costa y la evolución de los sistemas deltaicos se encuentra también sujeta a la dinámica del transporte sólido (Guillén, 1992; Jimenez, 1996; Yoshii *et al.* 2008). Al mismo tiempo el transporte y destino de los nutrientes, contaminantes y mi-

croorganismos asociados a los sólidos en suspensión son una de las principales preocupaciones en relación a la calidad del agua (Searcy, 2006; Westrich y Förstner, 2007; Horowitz, 2008). Desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica destacan las repercusiones que el transporte de sedimentos tiene en la navegabilidad fluvial, la pérdida de capacidad de los embalses y la vida útil de los equipamientos hidroeléctricos (Shalash, 1982, Telmer *et al.* 2006, Kasimov *et al.* 2007).

Uno de los procesos fluviales más directamente afectados por los embalses es el transporte de sólidos en suspensión. Meade y Parker (1985) documentan que la construcción de embalses ha

reducido el transporte de sedimentos en las cuencas como la del Mississippi a menos de la mitad y que la reducción es aún mayor en cuencas de zonas áridas o semiáridas como la del Colorado. Un caso extremo es la reducción del transporte sólido ocasionada por la presa de Aswan en el Nilo, donde los sedimentos han pasado de unos 100 millones de toneladas al año a ser prácticamente nulos (Walling, 1995). Otros ríos africanos, como el Níger o el Orange, transportan una proporción baja de material particulado lo que se atribuye a la presencia de embalses en sus cuencas (Martins y Probst, 1991).

En la Península Ibérica son pocos los ríos que se encuentran libres de regulación hidráulica, y todas las grandes cuencas se encuentran fuertemente reguladas por embalses. Aún así, en relación con los numerosos estudios limnológicos realizados en embalses (e.g. Margalef *et al.* 1976, Vidal y Om, 1993, Armengol *et al.* 1994) el efecto de la regulación sobre los sistemas fluviales y en concreto sobre el transporte en suspensión ha recibido menor atención. Varela *et al.* (1986), Sanz *et al.* (1999), Vericat y Batalla (2004) son algunos de los trabajos sobre la influencia de los embalses en el transporte sólido.

El presente trabajo se ha centrado en estudiar el efecto que los embalses de Mequinenza y Ribarroja tienen en el transporte de sólidos en suspensión del río Ebro. En primer lugar se ha estimado el caudal sólido en la entrada y salida del embalse y por diferencia de ambas la cantidad de sedimentos retenidos en el embalse. En segundo lugar se han evaluado los cambios que la presencia de estos embalses produce en la composición (fracción orgánica e inorgánica) de los sedimentos transportados en suspensión.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

Este estudio se ha llevado a cabo en el tramo medio del río Ebro, desde la entrada del embalse de Mequinenza (Escatrón) hasta la salida del embalse de Ribarroja (Ribarroja). El trazado es meandriforme. Excepto en los primeros km, donde alternan las aguas corrientes con las condiciones lénticas, el agua se encuentra totalmente embalsada. El volumen del embalse de Mequinenza es de 1.530 hm³, su longitud de unos 100km, la profundidad media 20 m y máxima (en la presa) 62 m. El embalse de Ribarroja es mucho más pequeño: volumen de 210 hm³, longitud aproximada 30km, profundidad media 9,7 m y máxima (en la presa) 34 m. Justo aguas

abajo de la presa de Mequinenza y ya en la cola de Ribarroja desembocan el Cinca y el Segre, que confluyen 8 km antes de su desembocadura en el Ebro.

Toma de datos

Durante el período comprendido entre el 25 de noviembre de 1997 y el 19 de setiembre de 1999 se tomaron muestras de agua para la determinación de la concentración de sólidos en suspensión y su composición (contenido orgánico e inorgánico). Las muestras se obtuvieron mediante la instalación de 5 muestreadores automáticos: 1° en la entrada de Mequinenza (central térmica de Escatrón), 2° en la salida de la central hidroeléctrica de Mequinenza, 3° en el río Cinca a la altura de Fraga, 4° en el río Segre a la altura de Serós y 5° en la salida de la central hidroeléctrica de Ribarroja.

La toma de muestras se realizaba cada 12 horas y se recogían 4 muestras de 250 ml por botella, de forma que se obtenía una muestra integrada de un litro de agua cada dos días.

Cálculos y análisis

La concentración de sólidos en suspensión se obtenía filtrando un volumen conocido de muestra a través de filtros (Whatman GF/F) previamente calcinados (450°C durante 5 horas) y pesados. Los filtros se secaban durante 24 horas a 70°C y se pesaban hasta alcanzar un peso constante. La concentración de sólidos en suspensión se determinaba de acuerdo con la fórmula:

$$CSS = (P_f - P_i)/V_{\text{filtrado}} \quad (1)$$

donde *CSS* es la concentración de sólidos en suspensión en mg/l; *P_f* es el peso final del filtro con el material retenido en mg; *P_i* es el peso inicial del filtro en mg y *V_{filtrado}* el volumen de muestra filtrado en litros.

Para diferenciar entre la fracción orgánica e inorgánica se quemaba la fracción orgánica calcinando los filtros durante 5 horas a 450°C. El contenido orgánico se calculaba de acuerdo con la fórmula:

$$MO = (P_f - P_{fc})/V_{\text{filtrado}} \quad (2)$$

donde *MO* es la concentración de material orgánico en suspensión en mg/l, *P_f* es el peso final del filtro con el material retenido en mg; *P_{fc}* es el peso final del filtro con el material retenido y quemado en mg y *V_{filtrado}* el volumen de muestra filtrado en litros.

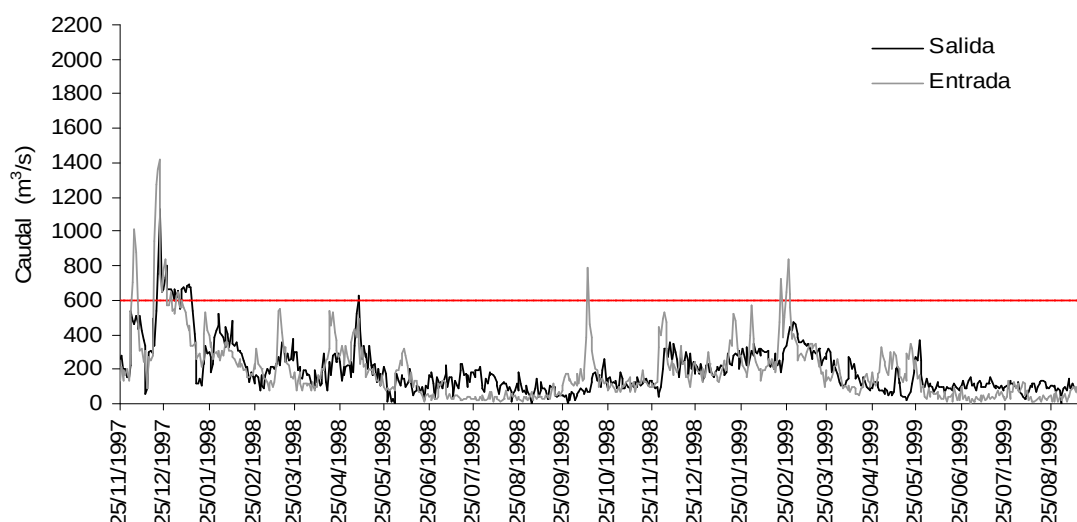


Figura 1. Series de caudales medios diarios en la entrada y salida del embalse de Mequinenza durante el período de estudio. La línea representa el caudal de turbinado máximo

El porcentaje de material orgánico se calculó de acuerdo con la fórmula:

$$\%MO = MO/CSS \quad (3)$$

El caudal medio diario a lo largo del periodo de estudio en el Cinca a la altura de Fraga y en el Segre a la altura de Serós ha sido proporcionado por la Confederación Hidrográfica del Ebro (EA-17 y EA-25, respectivamente), el caudal turbinado y vertido en la salida de los embalses de Mequinenza y Ribarroja, así como los caudales de entrada a los embalses ha sido proporcionado por ENDESA. Las series de caudales para el período de estudio se encuentran completas.

El caudal sólido se ha calculado multiplicando la concentración de sólidos en suspensión correspondiente a muestras integradas obtenidas cada dos días por el caudal promedio de los dos días correspondientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caudales

En la entrada de Mequinenza la aportación anual durante el período de estudio fue de 6.000 hm³/a, caudal superado el 75 % de los 50 años precedentes. A lo largo de esos 50 años el caudal medio fue de 7.819 hm³/a. Aún así, la aportación anual no puede considerarse propia de años muy secos como por ejemplo los años 48/49, 88/89 y 89/90 con caudales inferiores a los 2.600 hm³/a. El período de estudio se caracterizó por

la escasez de crecidas. La única crecida destacable fue la acontecida en diciembre de 1997 (Figura 1). Con un caudal medio diario máximo de 1.423 m³/s, apenas rebasó los 1.384 m³/s considerados como el umbral de crecida ordinaria en Sástago (Ollero, 1996). A pesar de ello y dada la irregularidad interanual del Ebro, es usual que durante un año hidrológico no se supere el umbral de crecidas ordinaria. Así pues, los aportes procedentes del Ebro en el período de estudio, comprendido entre el 25/11/1997 y el 19/9/1999 pueden considerarse representativos de años moderadamente secos. En la salida del embalse de Mequinenza el único episodio en que se superó la capacidad máxima de turbinado (600 m³/s) fue la crecida de diciembre de 1997. Los días 22 y 23 de diciembre de 1997, en el pico de la crecida, el caudal vertido representó entre el 40 y el 42 % del caudal de salida del embalse.

Los datos de caudal de los ríos Segre y Cinca, proporcionados por las estaciones de aforo EA-25 y EA-17, respectivamente, se consideran sobreestimados. En la Figura 2 se muestra la serie de caudales corregidos, los datos originales y las correcciones empleadas se detallan en CHE (2008). El período de estudio fue moderadamente seco, con un caudal medio de 43 y 50 m³/s, respectivamente. El rango de caudales del Cinca varió desde los 890 m³/s de máxima registrada el 19 diciembre de 1997 a los 2,81 m³/s registrados el 29 de julio de 1998. El máximo en el Segre fue de 974 m³/s y el mínimo 2,19 m³/s, en las mismas fechas.

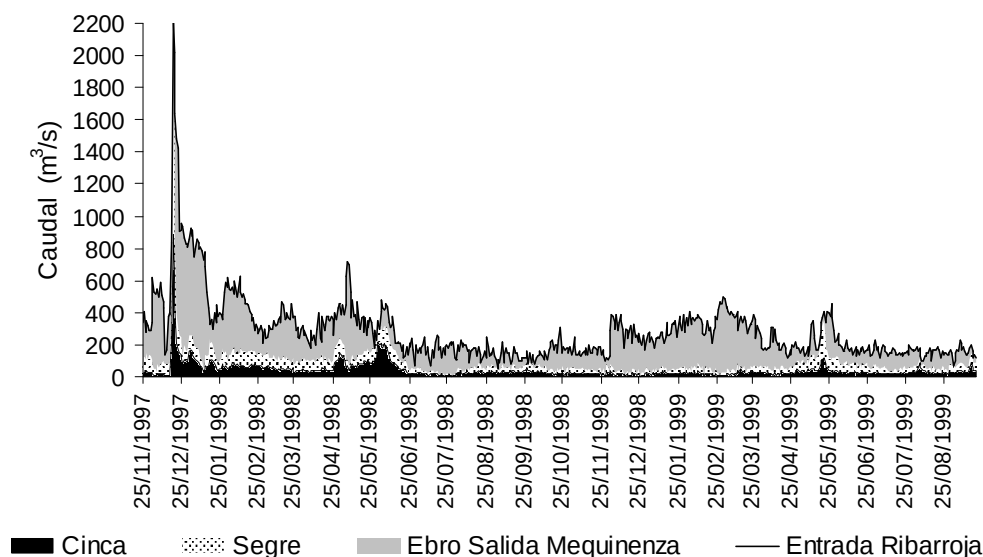


Figura 2. Caudal medio diario de entrada al embalse de Ribarroja durante el período de estudio. Se distingue el caudal procedente del Cinca, el caudal procedente del Segre y el caudal procedente del Ebro

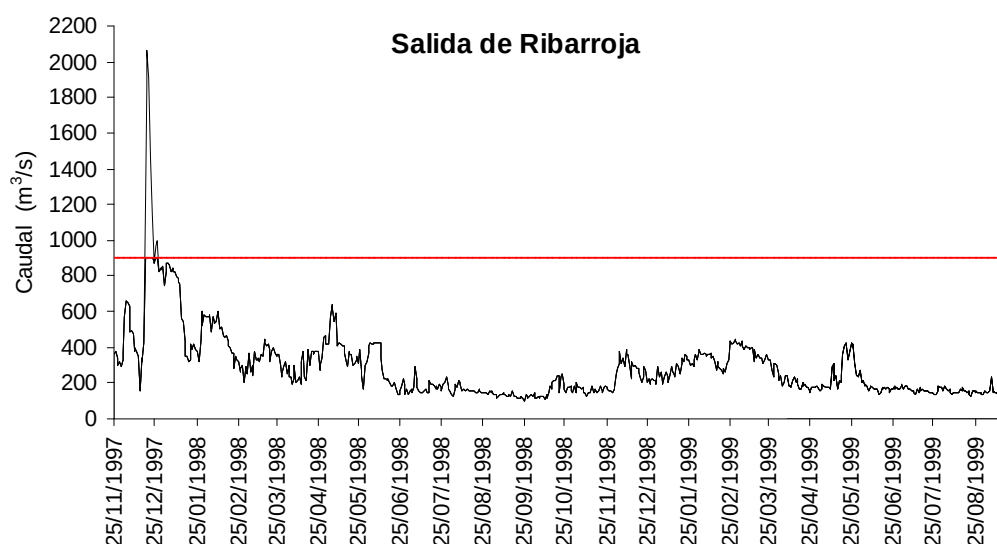


Figura 3. Caudales medios diarios en la salida del embalse de Ribarroja durante el período de estudio. La línea representa el caudal de turbinado máximo

El caudal en la salida del embalse de Ribarroja fue moderado durante la mayor parte del período de estudio. La única excepción se registró en diciembre de 1997 cuando el caudal de salida alcanzó los $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ (20/12/1997) y superó ampliamente el caudal de turbinado máximo ($900 \text{ m}^3/\text{s}$). Los tres días de mayor caudal, el caudal vertido representó entre el 63 y el 51 % del caudal de salida del embalse (Figura 3).

Concentración de sólidos en suspensión

Las series de concentración de sólidos en sus-

pensión no se encuentran completas, la falta de datos varía de unos puntos de muestreo a otros. Las series más completas son las de la entrada al embalse de Mequinenza con un 88 % de los datos y la salida de Ribarroja con el 77 %, mientras que en la salida de Mequinenza tan solo se dispone del 38 % de los datos. Aún así, dado que las concentraciones en la salida de este embalse fueron bajas y la variabilidad escasa (de 1,7 a $14,7 \text{ mg/l}$) los datos pudieron extrapolarse con un error relativamente pequeño. En el Segre y el Cinca faltan el 36 % y el 57 % de los datos, respectivamente.

En la entrada del embalse de Mequinenza la concentración de sólidos en suspensión del río Ebro muestra notables fluctuaciones (figura 4). La concentración media durante el período de estudio fue de 96 mg/l, con un rango de variación entre 896 y 13,5 mg/l. La variación estacional de la concentración de sólidos en suspensión y su relación con el caudal en la entrada de Mequinenza han sido descritas por Roura (2004). Las concentraciones más elevadas se registraron en otoño, con las primeras crecidas después de verano. Las crecidas primaverales también registraron valores destacables, como en mayo de 1999, con casi 700 mg/l, mientras que durante las crecidas invernales se registraron concentraciones menores, por debajo de los 500 mg/l.

En la salida del embalse de Mequinenza la concentración de sólidos en suspensión disminuye drásticamente respecto a la entrada. La media del período fue de 5,93 mg/l lo cual representa tan solo el 6,3 % de la media en la entrada del embalse; paralelamente, la variabilidad se reduce significativamente (Figura 4). Las bajas concentraciones son consecuencia de la sedimentación dentro del embalse de Mequinenza y se traducen en un desequilibrio entre el caudal líquido y el caudal sólido aportado por el Ebro al embalse de Ribarroja. Mientras que, durante el período de estudio, el caudal del río Ebro representó el 67,6 % de las entradas de agua al embalse, su contribución sólida fue solo del 5,16 %.

En cuanto a la contribución sólida de los ríos Cinca y Segre, si bien durante el período de estudio el Cinca aportó un caudal ligeramente inferior al Segre, 14,98 y 17,42 %, respectivamente, su contribución sólida fue casi el doble 62,66 % el Cinca y 32,18 % el Segre. Ello se debe en primer lugar a factores naturales como la litología. La cuenca del bajo Cinca la conforman materiales blandos: margas en la vertiente Este, materiales sedimentados y calizas en la vertiente Oeste y gravas, conglomerados y arcillas en la llanura aluvial. Por otra parte, la extracción de áridos y la movilización de los sedimentos procedentes

del vaciado del embalse de Barasona, realizado entre octubre de 1995 y octubre de 1997, contribuirían a incrementar las concentraciones de sólidos en suspensión ya de por sí elevadas. La concentración media de sólidos en suspensión en el Cinca fue de 262 mg/l frente a los 45,3 mg/l del Segre. La variación en el Cinca fue notable, entre 6,3 y 1.710 mg/l, máximo destacado registrado el 28 abril de 1998. En el Segre la concentración mínima fue similar, 5mg/l, pero la máxima 422 mg/l fue muy inferior (Tabla 1).

En la salida del embalse de Ribarroja la concentración de sólidos en suspensión del río Ebro aumenta con respecto a la registrada en la salida de Mequinenza gracias a los aportes del Cinca y en menor medida del Segre. La media se situó en los 19 mg/l y el rango de concentraciones se situó entre 1,7 y 1.251 mg/l, máximo que corresponde a la crecida acontecida en diciembre de 1997.

Caudal sólido

El embalse de Mequinenza supone una drástica reducción del caudal sólido en suspensión transportado por el río Ebro. La media de las aportaciones diarias de sólidos en suspensión en la entrada del embalse fue de 2.100 t/d, valor muy similar al obtenido por Vericat y Batalla (2006) en el período 2003-2004, 2.663 t/d; pero muy inferior al que obtuvieron los mismos autores en el 2002-2003, 6.293 t/d. La carga sólida obtenida en el período 2002-2003 no es comparable a la del presente estudio porque la hidrología (con una crecida superior a los 2.600 m³/s) difiere notablemente. En cambio la hidrología del período 2003-2004, con un caudal máximo diario de unos 1.100m³/s, fue relativamente similar.

En la salida del embalse de Mequinenza la carga sólida disminuye hasta los 103 t/d. En total la aportación sólida a la salida del embalse de Mequinenza durante el período de estudio fue de 64.500 t que en relación a las 1.401.100 t de entrada supone una retención del 95,4 %.

Estación	Concentración SS mg/l				Materia Orgánica %			
	Media	Max	Min	n	Media	Max	Min	n
Entrada embalse Mequinenza	96	896	13,5	291	11	30	2	208
Salida embalse Mequinenza	5,93	14,7	1,7	125	47	91	6,7	109
Cinca en Fraga	262	1.710	6,3	141	9	53	2,4	98
Segre en Serós	45,3	422	5	213	22	90	1,8	176
Salida embalse Ribarroja	19	1.251	1,7	254	30	90	1,6	191

Tabla 1. Media, máximo y mínimo de la concentración de sólidos en suspensión y su contenido orgánico en las distintas estaciones de muestreo durante el período de estudio; también se indica el número de muestras disponibles (n)

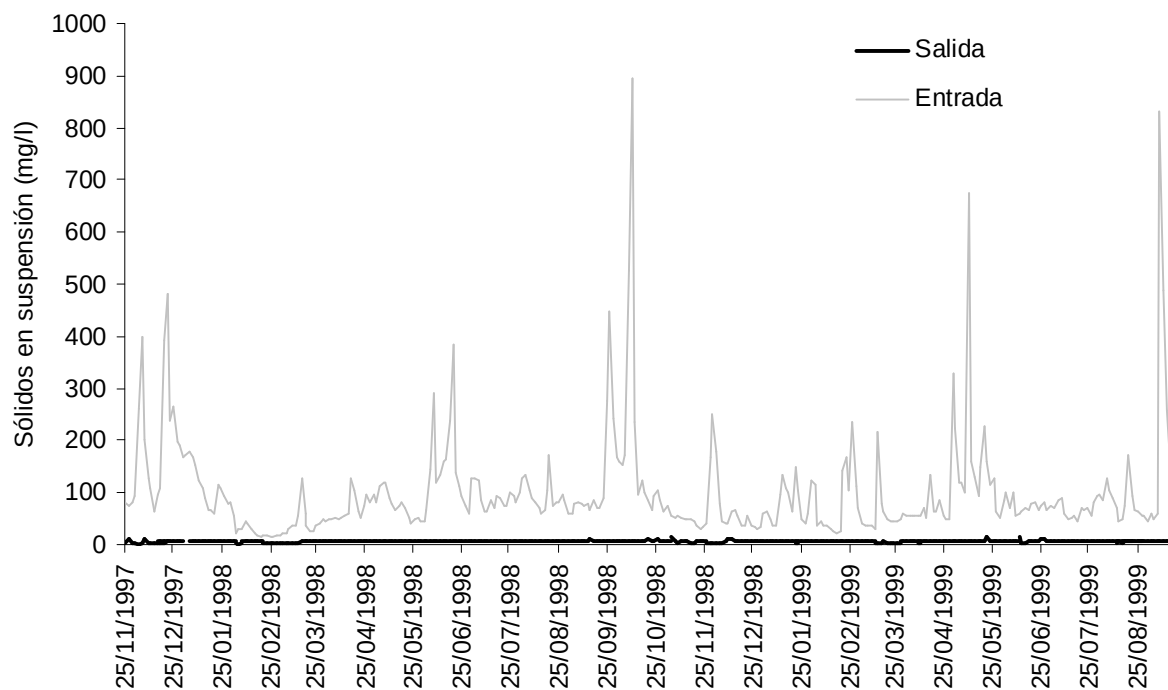


Figura 4. Evolución de la concentración de sólidos en suspensión (promedio cada dos días) en la entrada y salida del embalse de Mequinenza durante el período de estudio

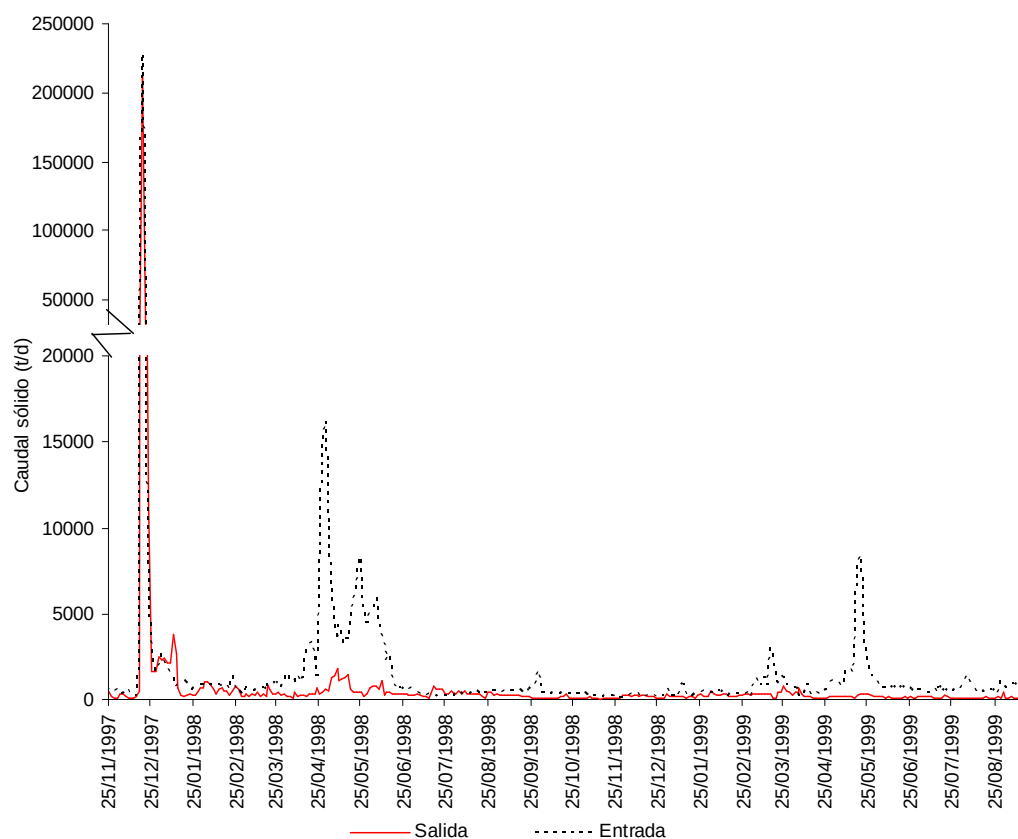


Figura 5. Evolución del caudal sólido en suspensión (promedio cada dos días) en la entrada y salida del embalse de Robarroja durante el período de estudio

Estación	Caudal sólido (t)	Aportación %
Salida embalse Mequinenza	64500	5,16
Cinca en Fraga	783900	62,66
Segre en Serós	402645	32,18
Total entradas embalse Ribarroja	1251045	
Salida del embalse de Ribarroja	742400	
Retención Ribarroja 40,66 %		

Tabla 2. Caudal sólido en suspensión de las entradas y salida del embalse de Ribarroja entre el 25 de noviembre 1997 y el 19 de setiembre 1999; aportación porcentual de cada una de las entradas y retención de sólidos en suspensión en el embalse de Ribarroja

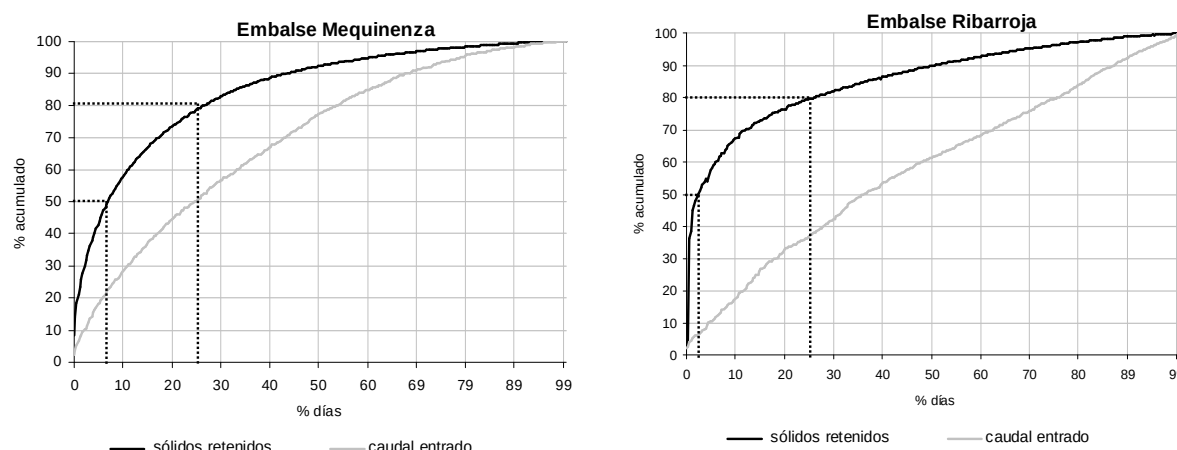


Figura 6. Porcentaje acumulado del caudal y la carga sólida retenida durante el período de estudio, comprendido entre el 25 de noviembre de 1997 y el 19 de diciembre de 1999, en la salida de los embalses de Mequinenza y Ribarroja

En la entrada de Ribarroja el caudal sólido del Ebro aumenta sustancialmente por las aportaciones del Segre y del Cinca. A pesar de ello, la aportación media diaria (1875 t/d) se mantiene por debajo de los valores en la entrada de Mequinenza. En la salida del embalse de Ribarroja el caudal medio diario vuelve a disminuir hasta las 1.111 t/d (Figura 5). En conjunto se estimó que la retención durante el período de estudio fue del 40,66 % (Tabla 2), muy inferior a la calculada en el embalse de Mequinenza (95,4 %) para el mismo período. Ello se debe a que el tiempo de residencia en el embalse de Ribarroja es corto, especialmente durante las crecidas, cuando el aporte sólido es mayor.

La distribución temporal del proceso de retención no es homogénea y se concentra mayoritariamente en los escasos días en que acontecen los episodios de crecida. La Figura 6 muestra el porcentaje acumulado de material retenido con respecto al porcentaje acumulado de días. Se observa que el 50 % del total de los sólidos en suspensión es retenido en el 7 % de los días en Mequinenza y el 3 % de los días en Ribarroja.

Ello evidencia la importancia que los eventos de crecida tienen en la retención de sólidos en suspensión dentro de los embalses.

En conjunto, la retención de sólidos en suspensión del sistema de embalses Mequinenza-Ribarroja fue del 71,3 %, dentro del rango de valores reseñados por Vericat y Batalla (2006) durante los períodos 2002-2003 (88,7 %) y 2003-2004 (69,7 %). La retención obtenida es muy similar a la registrada por dichos autores en el período 2003-2004, período durante el cual tampoco se produjeron crecidas destacables; el caudal medio diario máximo en Sástago se situó alrededor de los 1.100 m³/s del orden de los 1.423 m³/s registrados en el presente estudio. La mayor retención calculada para el período 2002-2003 se atribuye a eventos destacados como la crecida acontecida a principios de febrero de 2003, con un caudal medio diario máximo de 2.604 m³/s.

Composición de los sólidos en suspensión

Al mismo tiempo que disminuyen la cantidad de sólidos en suspensión, los embalses modifican

la composición de los sólidos transportados. Los datos obtenidos sobre la composición de los sólidos en suspensión se resumen en la Tabla 1. En el Ebro (entrada de Mequinenza), en el Cinca (Fraga) y en el Segre (Serós) los sólidos en suspensión son mayoritariamente de origen inorgánico, la fracción orgánica representa el 11 %, el 9 % y el 22 %, respectivamente. Los sólidos en suspensión con un mayor contenido orgánico corresponden a los analizados en la salida de Mequinenza donde casi la mitad de los sólidos en suspensión son de origen orgánico, el 47 %. En la salida de Ribarroja el contenido orgánico de los sólidos fue en promedio del 30 %. El incremento del porcentaje orgánico en la salida de los embalses se debe, por una parte, a la sedimentación diferencial de la porción inorgánica más densa y, por otra, al desarrollo de fitoplancton dentro de los embalses. El contenido orgánico del Segre presenta valores intermedios entre los valores fluviales y los registrados en los embalses. La existencia de tramos de aguas lentas, los aportes procedentes de los canales de riego, así como, la presencia de numerosos embalses aguas arriba propiciarían el elevado contenido orgánico en la desembocadura del Segre. En el Cinca, los procesos que incrementan el contenido orgánico vendrían contrarrestados por la erosión de limos y arcillas que conforman el bajo Cinca los cuales acrecientan el contenido inorgánico frente al orgánico.

CONCLUSIONES

Para conocer el caudal sólido transportado en suspensión en ríos con un régimen de caudal irregular como el Ebro, es necesario disponer de series continuas de datos: tanto de caudal como de concentración de sólidos en suspensión.

Los embalses de Mequinenza y Ribarroja constituyen una discontinuidad en el transporte de sedimentos del río Ebro. Prácticamente todos los sólidos en suspensión transportados por el río Ebro son retenidos por el embalse de Mequinenza, el 95 %; el 97 % si consideramos la fracción inorgánica exclusivamente. En el embalse de Ribarroja la retención es menor, 41 %, debido a que el tiempo de retención es bajo (7 días).

La mayor parte del transporte en suspensión se concentra en los pocos días en que acontecen los eventos de crecida. Es también durante estos eventos cuando se produce la mayor parte de la sedimentación dentro de los embalses. El 50 % del total de sólidos en suspensión retenidos durante el período de estudio en Mequinenza lo fueron en el 7 % de los días y el 80 % en el 25 % de los días. En Ribarroja, el 50 % del total de

sólidos en suspensión fueron retenidos en el 3 % de los días y el 80 % en el 25 % de los días.

El sistema de embalses Mequinenza-Ribarroja supone una drástica disminución del caudal sólido transportado por el Ebro, el 71 % del material en suspensión. Ello afecta tanto a la capacidad de los embalses como a la morfología del río aguas abajo y su delta.

Los embalses de Mequinenza y Ribarroja modifican la cantidad y la composición de los sólidos en suspensión, aumentando notablemente el porcentaje de materia orgánica particulada transportada por el río.

AGRADECIMIENTOS

Parte del presente trabajo se ha llevado a cabo en el marco del convenio de colaboración con la CHE "Estudio de la dinámica sedimentaria y batimetría de precisión del embalse de Ribarroja" y de los proyectos CGL-2008-06377-C02-02/BTE y CGL-2008-06377-C01-02/BTE financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Se agradece la importante información de campo facilitada por la Confederación Hidrográfica del Ebro y por ENDESA.

REFERENCIAS

- Armengol, J., J. Toja y A. Vidal, (1994). Seasonal rhythm and secular changes in Spanish reservoirs. *Limnology Now: a Paradigm of Planetary Problems*. R. Margalef, Amsterdam, Elsevier, 237–252.
- CHE, (2008). Análisis del transporte sólido en suspensión en los embalses de Mequinenza y Ribarroja en Estudio de la dinámica sedimentaria y batimetría de precisión del embalse de Ribarroja. Grupo de Investigación Flumen.
- Guillén, J., (1992). Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluvial y litoral del Delta del Ebro. Institut de Ciències del Mar, Barcelona, C.S.I.C.
- Horowitz, A.J., (2008). Determining annual suspended sediment and sediment-associated trace element and nutrient fluxes. *Science of total Environment*, 400 (1-3), 315–343.
- Jimenez, J.A., (1996). Evolución Costera en el Delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio. Dept. EHMA, UPC, Barcelona, 27–38.
- Kasimov, N.S., Lychagin, M.Y. y Konolov, I.A., (2007). Heavy metal transport in the Volga delta. Tenth International Symposium on River Sedimentation, Moscow, Rusia.

- Klingeman, P.C. y R.C. MacArthur, (1990). Sediment transport and aquatic habitat in gravel bed rivers. *Hydraulic Engineering Proc.* (1990), ASCE, 1116–1121.
- Leopold, L.B., Wolman, M. G. y Miller, J.P., (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Francisco, California.
- Margalef, R., Planas, D., Armengol, J., Vidal, A., Prat, N., Guiset, A., Toja, J., y Estrada, M., (1976). *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, 422.
- Martins, O. y J.L. Probst, (1991). Biogeochemistry of Major African Rivers: Carbon and Mineral Transport. *Biogeochemistry of Major World Rivers*. E.T. Degens, S. Kempe y J.E. Richey (eds.), Salisbury, John Wiley & Sons, SCOPE 42, 127–154.
- Meade, R.H. y R. Parker, S., (1985). Sediment in rivers of the United States. *National Water Summary 1984*, 2275, 49–60.
- Ollero, A., (1996). *El Curso Medio del Ebro*. Zaragoza, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- Roura, M., (2004). *Incidència de l'embassament de Mequinenza en el transport de sòlids en suspensió i la qualitat de l'aigua del riu Ebre*. Tesis Doctoral, Junio 2004, Universitat de Barcelona, pp. 145.
- Sanz, M.E., Avendaño, C. y Cobo, R., (1999). Influencia de los embalses en el transporte de sedimentos hasta el río Ebro (España). *Proceedings of the Congreso on Hydrological and geochemical processes in large-scale river basins*, HIBAM, Shahin.
- Searcy, K.E., Packman, A.I., Atwill, E.R. y Harter, T., (2006). Deposition of *Cryptosporidium* oocysts in streambeds. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(3), 1810–16.
- Shalash, S., (1982). Effects of sedimentation on the storage capacity of the High Aswan Dam Reservoir. *Hydrobiology*, 92, 623–639.
- Telmer, K., Costa, M., Simões A.R., Araujo, E.S. y Maurice, Y., (2006). The source and fate of sediment and mercury in the Tapajós River, Pará, Brazilian Amazon: Ground- and space-based evidence. *Journal of Environmental Management*, 81(2), 101–113.
- Varela, J., A. Gallardo y López de Velasco, A., (1986). Retención de sólidos por los embalses de Mequinenza y Ribarroja. Efectos sobre los aportes al Delta del Ebro. *El sistema integrado del Ebro*. M. Mariño, Madrid, Gráficas Hermes, 203–219.
- Vericat, D. y R.J. Batalla, (2004). Efectos de las presas en la dinámica fluvial del curso bajo del río Ebro. *Rev. Cuaternario y Geomorfología*, 18(1-2), 37–50.
- Vericat, D. y R.J. Batalla, (2006). Balance de sedimentos en el tramo bajo del Ebro. *Rev. Cuaternario y Geomorfología*, 20(1-2), 79–90.
- Vidal, C. y J. Om, (1993). The eutrophication processes in Sau Reservoir (NE Spain): a long term study. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25, 1247–1256.
- Walling, D.E., (1995). Suspended sediment yields in changing environment. En *Changing River Channels*, A. Curnell and G.E. Petts (eds.), West Sussex, John Wiley & Sons Ltd., 149–176.
- Westrich, B. y S. Förstner (eds.), (2007). *Sediment dynamics and pollutant mobility in rivers: an interdisciplinary approach*. *Environmental Science and Engineering*, XXX-VI, 430 p. 195 illus., Springer, Berlin.
- Yoshii, T., Fujiwara, H., Sato, S., Huang, G., Shirai, M., y Tajima, Y., (2008). Sediment transport study on the Tenryu River and the Enshu coast based on analyses of surface sediments. *International Conference on Coastal Engineering*, Hamburg.