

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

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

Montserrat Roura<sup>1</sup>, Fernando Jaime<sup>2</sup>, Joan Armengol<sup>3</sup> y Josep Dolz<sup>1</sup>.

*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 setiembre de 1999. La retención en el embalse de Mequinenza fue del 98%, 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 incrementa considerablemente debido a la sedimentación diferencial de la fracción inorgánica y a la producción de fitoplancton en los embalses.*

---

<sup>1</sup> Grupo de Investigación FLUMEN, Escuela de Ingenieros de Caminos, UPC

<sup>2</sup> Confederación Hidrográfica del Ebro

<sup>3</sup> Grupo de Investigación FLUMEN, Facultad de Biología, UB

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos fluviales más directamente afectados por los embalses es el transporte de sedimentos. A pesar de los numerosos estudios limnológicos realizados en embalses, el efecto de las presas sobre los sistemas fluviales ha recibido menor atención. En cuanto al efecto de los embalses españoles en el transporte de sólidos en suspensión, los antecedentes existentes se basan en datos puntuales o eventos concretos (Varela et al. 1986; Vericat y Batalla, 2005). Para obtener estimas fiables de caudal sólido es necesario disponer de datos continuos, especialmente en ríos con régimen irregular como los de la Península Ibérica (Roura, 2004). En las últimas décadas la mejora y mayor accesibilidad de los sistemas de recogida automática de muestras está contribuyendo a un notablemente avance del estudio del transporte sólido en suspensión.

## 2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se ha llevado a cabo en el tramo medio del río Ebro, entre Escatrón y Ribarroja. El tramo comprende desde la entrada de Mequinenza (Escatrón) hasta la salida del embalse de Ribarroja (Ribarroja). El trazado es meandriforme, en los primeros km alternan las aguas corrientes con las condiciones lénticas en función de la cota a la que se encuentra el embalse de Mequinenza, aguas abajo el agua se encuentra totalmente embalsada. El volumen del embalse de Mequinenza es de 1.530 hm<sup>3</sup>, 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 210hm<sup>3</sup>, longitud aproximada 30km, profundidad media 9,7 m y máxima (en la presa) 34 m. Justo por debajo 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.

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: 1º en la entrada de Mequinenza (central térmica de Escatrón), 2º en la salida de la central hidroeléctrica de Mequinenza, 3º en el río Cinca a la altura de Fraga, 4º en el río Segre a la altura de Serós y 5º en la salida de la central hidroeléctrica de Ribarroja.

La toma de muestras se realizaba cada 12 horas y se recogían 4 muestras de 250ml por botella. De forma que se obtenía una muestra integrada de un litro de agua cada dos días. La concentración de sólidos en suspensión se obtenía filtrando un volumen conocido de muestra a través de filtros (Whatman GF/F) previamente quemados (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 dividiendo la diferencia de peso por el volumen filtrado. Para diferenciar entre la fracción orgánica e inorgánica se calcinaba la fracción orgánica quemando los filtros durante 5 horas a 450°C.

El caudal medio diario a lo largo del período 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 (calculados mediante el balance de caudales en los embalses) ha sido proporcionado por ENDESA.

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.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 SERIES DE CAUDALES

La serie completa de caudal facilitada por ENDESA muestra que en la entrada de Mequinenza la aportación anual durante el período de estudio fue relativamente baja 6000 hm<sup>3</sup>/a, caudal superado el 75% de los 50 años precedentes al período de estudio cuyo caudal medio fue de 7819 hm<sup>3</sup>/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 2600 hm<sup>3</sup>/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 1423 m<sup>3</sup>/s, apenas rebasó los 1384 m<sup>3</sup>/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.

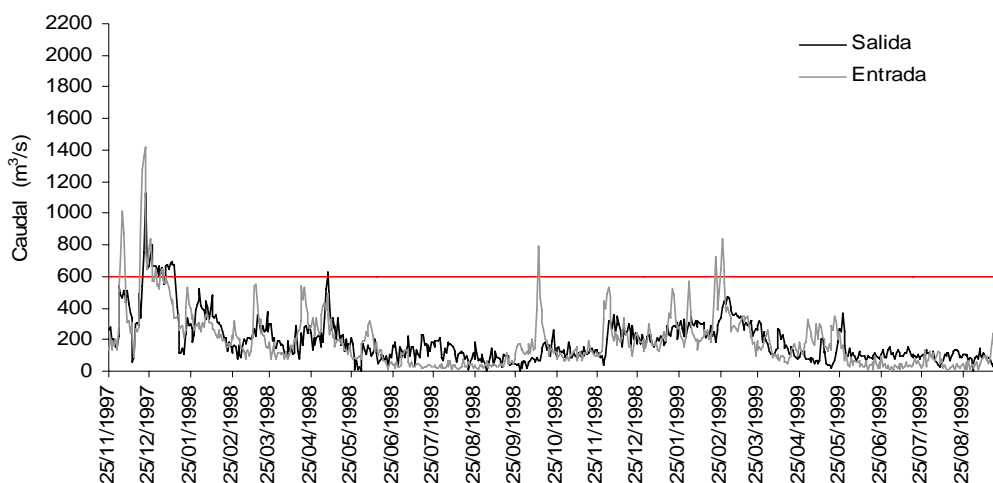


Figura1: Series de caudales medios diarios en la entrada y salida del embalse de Mequinenza durante el período de estudio. La línea representa el caudal de turbinado máximo. En la salida del embalse de Mequinenza el único episodio en que se superó la capacidad máxima de turbinado (600 m<sup>3</sup>/s) 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 represento entre el 40 y el 42 % del caudal de salida del embalse.

Aunque durante el periodo de estudio, tanto la serie de caudales registrados en el río Cinca a la altura de Fraga (CHE estación de aforo 017) como la serie de caudales del río Segre a la altura de Serós (CHE estación de aforo 025) están completas, el problema principal de estas series es que los datos se encuentran sobreestimados (ver datos originales y cálculos en CHE,2008). En la figura 2 se muestra la serie de caudales corregidos. El período de estudio fue moderadamente seco, con un caudal medio corregido de 43 y 50 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. El rango de caudales del Cinca varió desde los 890 m<sup>3</sup>/s de máxima registrada el 19 diciembre de 1997 a los 2,81 m<sup>3</sup>/s registrados el 29 de julio de 1998. El máximo en el Segre fue de 974 m<sup>3</sup>/s y el mínimo 2,19 m<sup>3</sup>/s, en las mismas fechas.

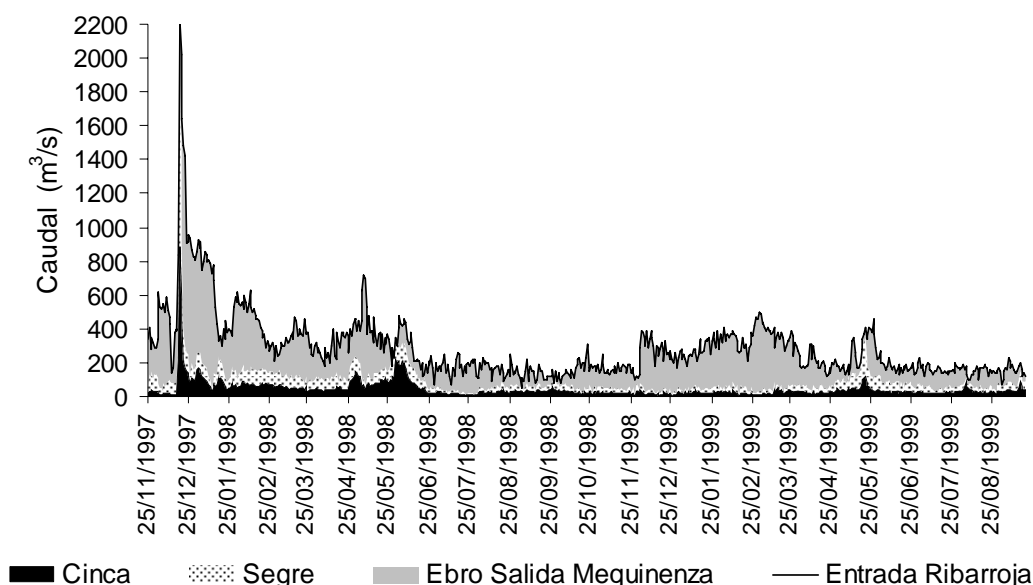


Figura 2: Caudal medio diario de entrada al embalse de Ribarroja durante el período de estudio, se distingue el caudal procedente del Cinca, el caudal procedente del Segre y el caudal procedente del Ebro.

La serie completa de caudales en la salida del embalse de Ribarroja (datos facilitados por ENDESA) muestra que el caudal de turbinado máximo (900 m<sup>3</sup>/s) se superó en diciembre de 1997, cuando el caudal de salida alcanzó los 2000 m<sup>3</sup>/s (20/12/1997). Los tres días de mayor caudal, el caudal vertido representó entre el 63 y el 51 % del caudal de salida del embalse (figura 3).

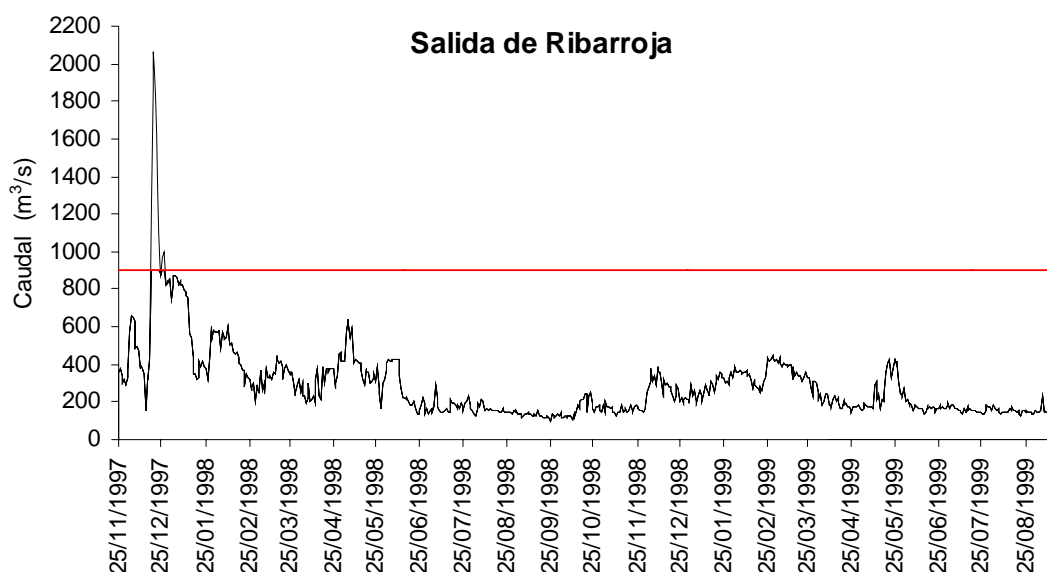


Figura 3: Caudales medios diarios en la salida del embalse de Ribarroja durante el período de estudio. La línea representa el caudal de turbinado máximo.

### 3.2 APOORTE DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Las series de concentración de sólidos en suspensión no se encuentran completas, la falta de datos varia 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 de 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 mg/l) los datos pueden 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. 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 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 1710 mg/l, máximo destacado registrado el 28 abril de 1998. En el Segre la concentración mínima fue similar 5mg/l pero la máxima 422mg/l fue muy inferior (tabla 2).

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 1251 mg/l, máximo que corresponde a la crecida acontecida en diciembre de 1997.

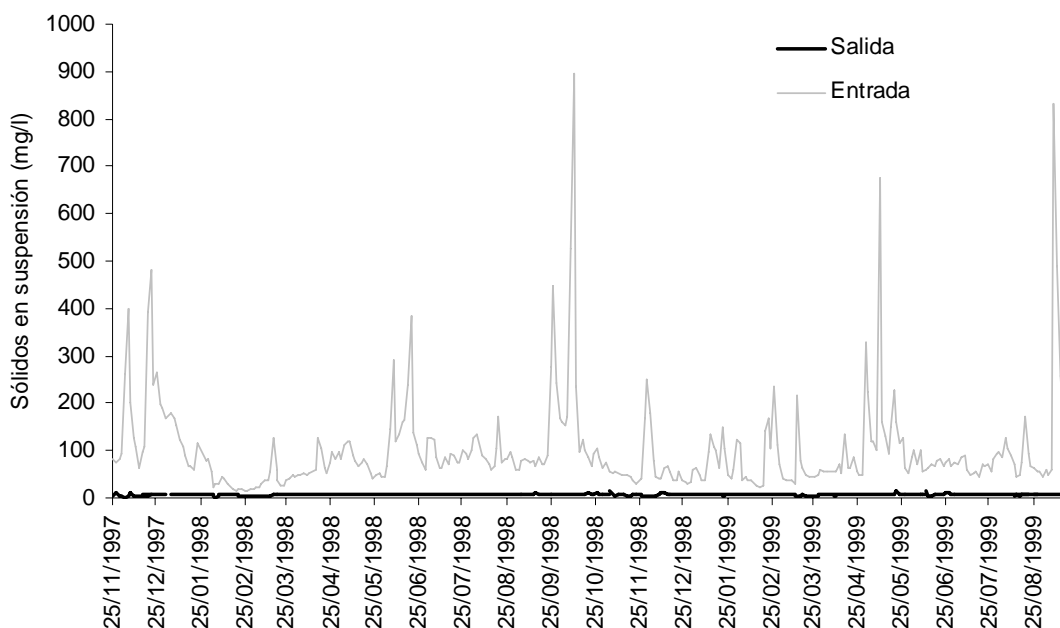


Figura 4: Evolución de la concentración de sólidos en suspensión (promedio cada dos días) en la entrada y salida del embalse de Mequinenza durante el período de estudio.

### 3.3 EFECTO DE LOS EMBALSES EN LA CANTIDAD Y CALIDAD DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TRANSPORTADOS POR EL EBRO

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 2100 t/d en la salida, esta disminuye hasta los 103 t/d. En la entrada de Ribarroja el caudal sólido del Ebro aumenta substancialmente por las aportaciones del Segre y del Cinca. A pesar de ello, la aportación media diaria (1874,58 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 1110,84 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 1401100 t de entrada supone una retención del 95,4% (tabla 1). Este porcentaje aumenta si se considera solo la fracción inorgánica. Los datos disponibles no permiten realizar un balance completo de las fracciones orgánica e inorgánica durante el periodo de estudio. Aún así, los datos disponibles entre febrero de 1998 y febrero de 1999 en la entrada y salida del embalse de Mequinenza permiten evaluar la disminución de la fracción orgánica e inorgánica por separado. Se observa que mientras que la retención de sólidos en suspensión fue del 93% esta incrementa hasta el 97% cuando se considera exclusivamente la fracción inorgánica. La menor disminución de la fracción orgánica se debe tanto a la menor retención en el embalse como a la producción de plancton en el propio embalse.

En Ribarroja la retención durante el período de estudio fue del 40,66%, muy inferior a la calculada en el embalse de Mequinenza. Ello se debe a que el tiempo de residencia en el embalse de Ribarroja es corto (inferior a una semana), especialmente durante las crecidas, cuando el aporte sólido es mayor (figura 5). Así lo indica la distribución temporal de las aportaciones; el caudal sólido se concentró en los escasos días que transcurrió la única crecida significativa del período de estudio. En los seis días transcurridos entre el 19 y el 24 de diciembre, el transporte sólido representó el 70% del total transportado en los 22 meses que comprende el período de estudio (figura 6).

Tabla 1: Caudal sólido en suspensión de las entradas y salida del embalse de Ribarroja durante el período de estudio; aportación porcentual de cada una de las entradas y retención de sólidos en suspensión en el embalse de Ribarroja.

Estación	Caudal sólido (t)	Aportación %
Salida del embalse de Mequinenza	64 500	5,16
Cinca en Fraga	783 900	62,66
Segre en Serós	402 645	32,18
Total entradas embalse Ribarroja	1 251 045	<b>Retención Ribarroja</b>
Salida del embalse de Ribarroja	742 400	

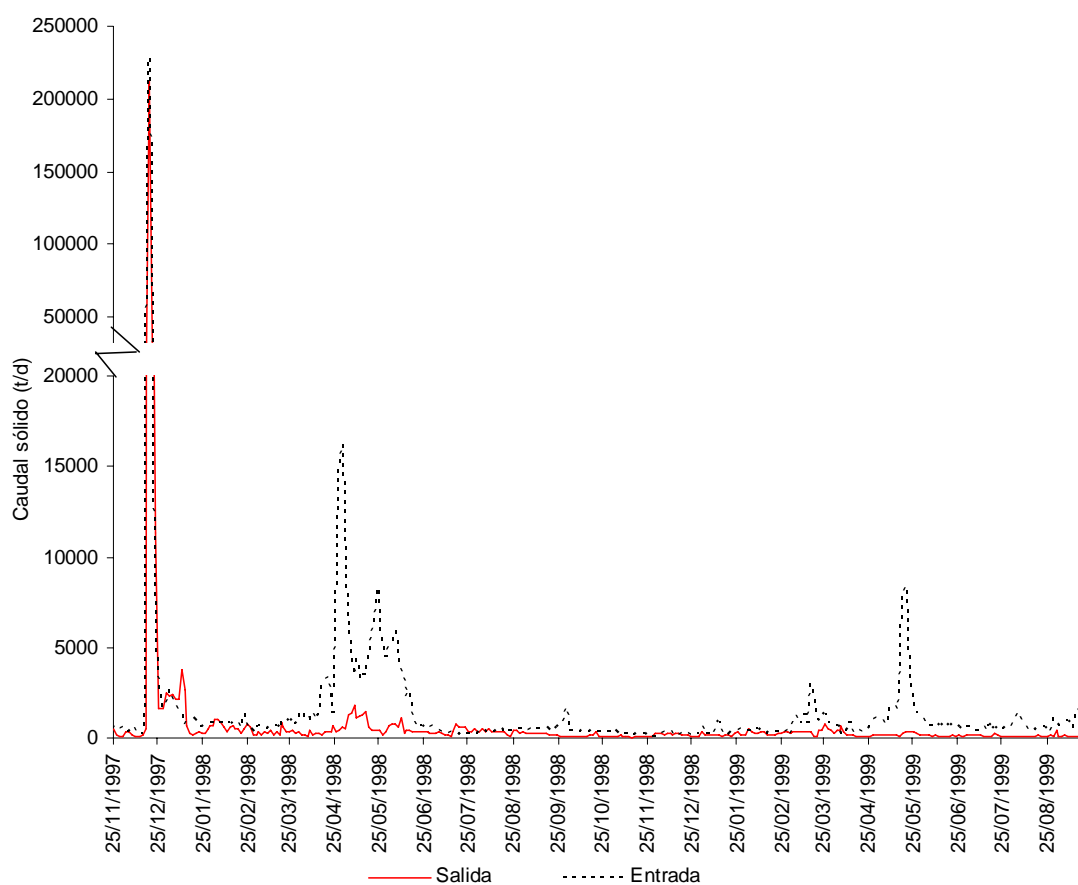


Figura 5: Evolución del caudal sólido en suspensión (promedio cada dos días) en la entrada y salida del embalse de Ribarroja durante el periodo de estudio.

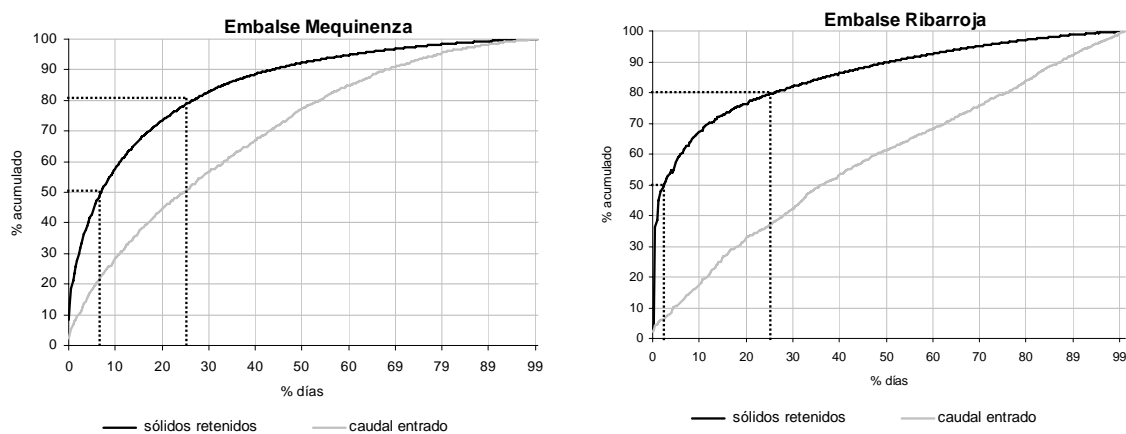


Figura 6: Porcentaje acumulado del caudal y la carga sólida retenida durante el periodo de estudio, comprendido entre el 25 de noviembre de 1997 y el 19 de diciembre de 1999, en la salida de los embalses de Mequinenza y Ribarroja.



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 2. En el Ebro en la 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.

Tabla 2: 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).

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	1710	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	1251	1,7	254	30	90	1,6	191

### 3.4 FUTUROS DESARROLLOS

Este trabajo se enmarca en un estudio que el Grupo Flumen está realizando por encargo de la Confederación Hidrográfica del Ebro y que tiene por objeto el análisis de la sedimentación en el embalse de Ribarroja. Dicho análisis se refiere a la distribución temporal y espacial de la cantidad y calidad de los sedimentos acumulados.

## REFERENCIAS

- CHE, (2008) Análisis del transporte sólido e suspensión en los embalses de Mequinenza y Ribarroja *en* Estudio de la dinámica sedimentaria y batimetría del embalse de Ribarroja. Flumen.
- 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 Mequinensa en el transport de sòlids en suspensió i la qualitat de l'aigua del riu Ebre. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Varela, J., A. Gallardo, et al. (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: 20-219.
- Vericat, D. and R. J. Batalla (2005). "Sediment transport in highly regulated fluvial system during two consecutive floods (lower Ebro River, NE Iberian Peninsula)." Earth Surface Processes and Landforms **30**: 385-402.