

Balance de sedimentos en el río Cinca (Pirineos Centrales): impacto de los embalses y los tributarios en la carga sedimentaria

E. Muñoz-Narciso ¹, D. Vericat ^{1,2}, T. Francke ³ y R.J. Batalla ^{1,4,5}

¹ Grupo de Investigación de Dinámica Fluvial (RIUS), Dpt. Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida, Lleida, Catalunya

² Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona, Catalunya.

³ Dept. of Hydrology & Climatology, Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam, Potsdam-Golm (Germany)

⁴ Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA), Girona, Catalunya

⁵ Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile)

The sediment budget of the River Cinca (Central Pyrenees): the role of dams and tributaries. This paper presents the preliminary results of the sediment budget of the Cinca River (Southern Pyrenees). Flow and sediment data was obtained in a total of seven monitoring sections located at different strategic locations in the basin (9667 km²). Data was registered at 15-minute intervals during one hydrological year (i.e. 2015-2016). The results show the impact of the Mediano-Grado reservoirs system (i.e. 828.2 hm³ of storage capacity) in terms of reducing the sediment load downstream. A total of 90.000 t/y are transferred from the headwaters of the Cinca, but these are trapped into the reservoirs. Suspended sediment load is quickly recovered, reaching 75.000 t/y 45 km downstream. Sediment recovery is mainly driven by small tributaries.

Palabras clave: Río Cinca, dinámica hidro-sedimentaria, balance de sedimentos, embalses, impactos antrópicos.

Key words: Cinca river, hydro-sedimentary dynamics, sediment budget, reservoirs, human impacts.

Introducción

La mayoría de los ríos mediterráneos están sujetos a impactos antrópicos (e.g. embalses, extracciones de áridos, canales de irrigación) que alteran el régimen hidro-sedimentario (e.g. Williams y Wolman, 1984; Batalla et al., 2004; Vericat y Batalla, 2006) y afectan el funcionamiento del ecosistema fluvial (Ward y Stanford, 1979). De manera general, estos impactos reducen la magnitud y frecuencia de crecidas, la aportación hídrica y la carga total de sedimentos. Además, dichas alteraciones, también alteran la dinámica hidro-sedimentaria y las características morfo-sedimentarias de los cauces.

De manera específica, los embalses son un claro ejemplo de la interrupción en la continua transferencia de agua y sedimentos, causando un fuerte desequilibrio hidro-sedimentario aguas abajo (Kondolf, 1997). Además de interrumpir la dinámica sedimentaria, aguas abajo de los embalses, la estabilidad del lecho puede provocar el crecimiento de algas y biofilm, con posibilidad de alterar la hidráulica y la morfología del cauce (Salant, 2011), y los patrones de sedimentación (Kouwen y Unny, 1973) convirtiéndose, de esta forma, en una causa adicional de estabilización sedimentaria.

Las extracciones de áridos, modifican la morfología del río, reduciendo la disponibilidad de sedimento en el cauce. Los impactos descritos, afectan la dinámica morfo-sedimentaria del cauce (Batalla et al., 2006).

El objetivo principal de este trabajo es la realización de un balance sedimentario (i.e. sedimento en suspensión) e hidrológico en una de las cuencas principales de los Pirineos, la cuenca del río Cinca. Este trabajo proporcionará datos relevantes para entender la producción de sedimentos en la cabecera de la cuenca, el impacto de los embalses en la parte intermedia (i.e. actuando como zonas trampa), y el estudio de la recuperación de la carga sedimentaria aguas abajo ("*sediment recovery*") debido al aporte de afluentes no regulados con un mayor o menor dinamismo (e.g. Alcanadre y Vero, respectivamente).

Area de estudio

El área de estudio se sitúa al NE de la Península Ibérica (Fig. 1). La cuenca del Cinca, con un área de ~9667 km², y una longitud de 191km (río Cinca), se convierte en uno de los afluentes más importantes en la cuenca del Ebro (i.e. aporte hidro-sedimentario). Localizada en el Pirineo Central, destaca la

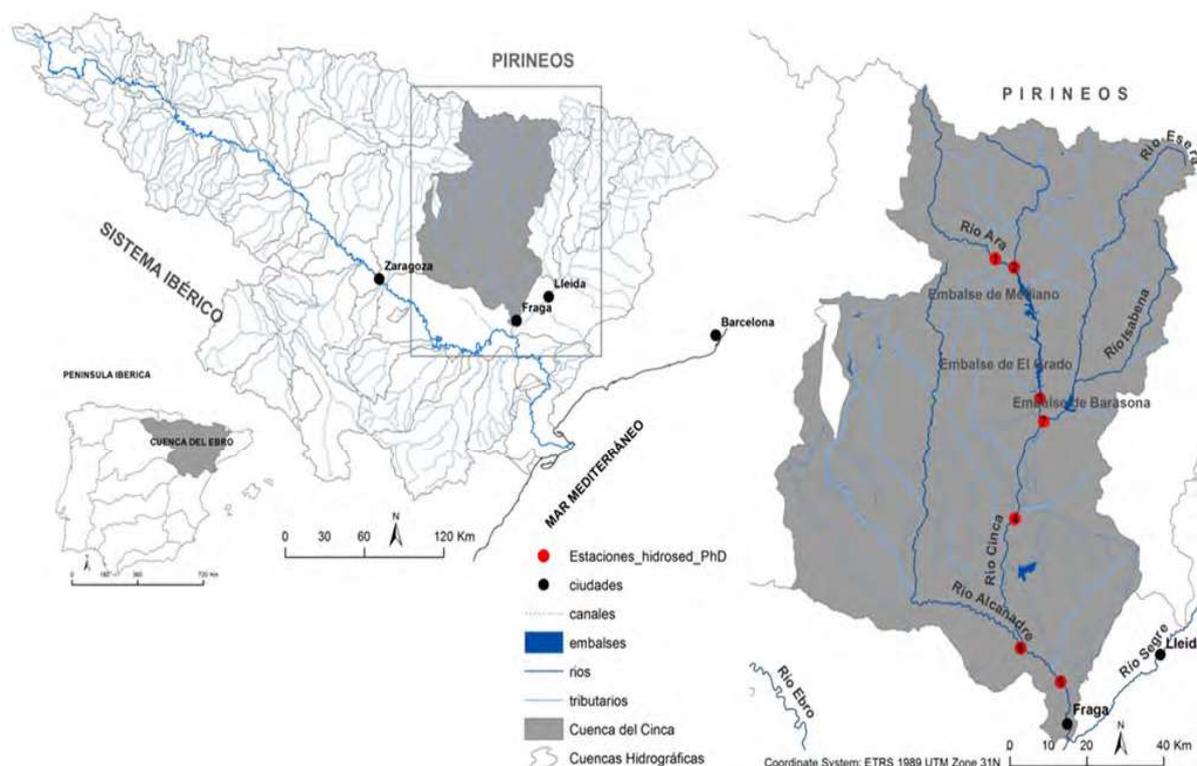


Fig 1: Localización del área de estudio (Cuenca del Ebro, NE Península Ibérica), ubicación de las estaciones de medida hidro-sedimentaria la Cuenca del río Cinca.

Fig. 1. Location of the study area (Ebro Basin, NE Iberian Peninsula), situation of the hydro-sedimentary measurement of the Cinca River Basin.

heterogeneidad del conjunto de la cuenca en términos geomorfológicos (i.e. fuerte gradiente altitudinal: de 3350 msnm a 120msnm), climáticos y de usos de suelo; con una marcada transición entre las zonas de cabecera (mayores elevaciones del Pirineo) hasta la Depresión central del Valle del Ebro. El régimen de precipitaciones es muy variable, con transición norte-sur; en cabecera la precipitación total es $>1500\text{mm/año}$, descendiendo meridionalmente hacia los $\sim 500\text{ mm/año}$ en el Cinca Medio y los $<300\text{ mm/año}$ del Bajo Cinca.

La cuenca está regulada por 3 grandes embalses: el sistema Grado-Mediano (capacidad de 834.5 hm^3 , construcción 1959-1969) en el río Cinca, y por el de Barasona (capacidad de 84.7 hm^3 , construcción 1932) en el río Ésera. Además, también existen otros pequeños embalses y azudes de menor entidad. La finalidad principal es el abastecimiento de regadío para las grandes extensiones agrícolas de las zonas medias y bajas del Cinca. Su impacto en la dinámica hidro-sedimentaria de la parte media y baja es

muy elevado, así como en los cambios morfológicos sufridos a partir de su construcción (Muñoz-Narciso et al., 2018). El Índice de Regulación es de 0.35 (IR, calculado por Batalla et al., 2004), lo que indica que los embalses tienen la capacidad de regular el 35% de la aportación hídrica de la cuenca.

Metodología

Se ha monitorizado el caudal y el transporte de sedimentos en suspensión en un total de 7 estaciones (Figura 1 y 2). La ubicación de estas se ha basado en zonas estratégicas de entrada y salida de agua y sedimentos de la cuenca para la realización del balance. La frecuencia de los datos de caudal y SSC es quinceminutal.

Balance hidrológico

Los datos de caudal se han obtenido a partir de datos oficiales de las estaciones de aforo de río Ara en Boltaña, río Cinca en Fraga, río Alcanadre en Ballobar, y salida del embalse de El Grado; todos ellos datos ofrecidos por la

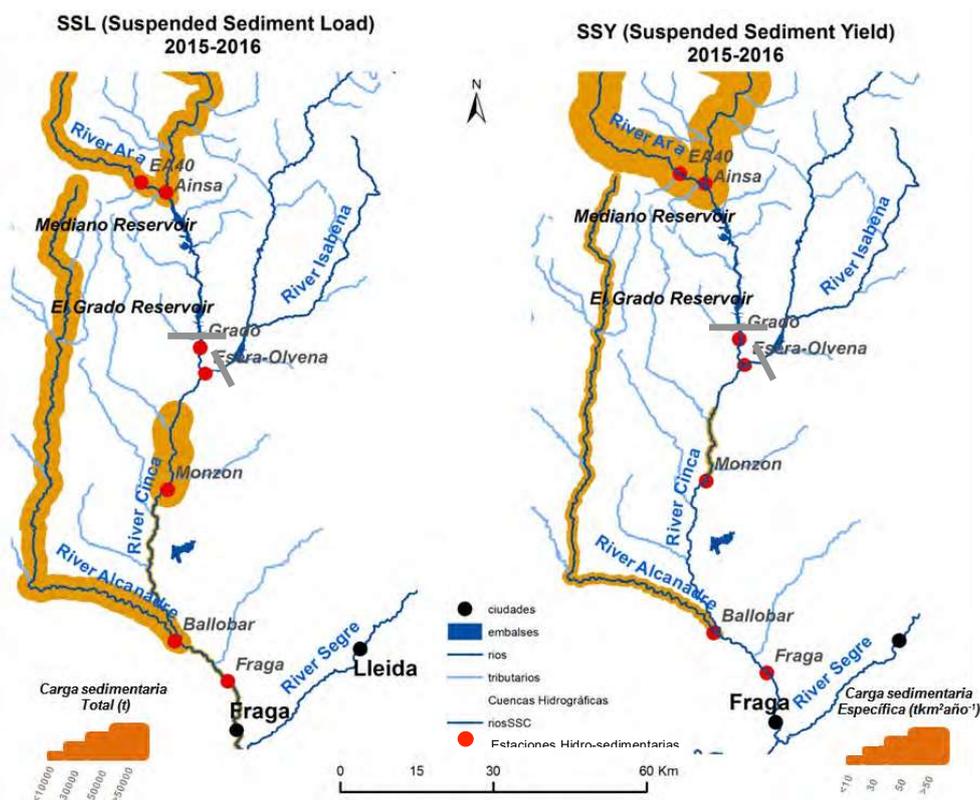


Fig 2: Balance sedimentario para el año hidrológico 2015-2016 en la cuenca del Cinca. Carga sedimentaria total (t, toneladas: izquierda) y Carga sedimentaria específica (tkm², derecha).

Fig. 2, The Sediment Budget of the Cinca River (2015-2016) expressed as Suspended Sediment Load and Specific Sediment Yield.

	Cinca-Ainsa	Ara	Cinca-El Grado	Cinca-Monzón	Alcanadre
SSC _{med} (gl ⁻¹)	0.03	0.05	-	0.05	0.10
SSC _{max} (gl ⁻¹)	9.06	3.78	-	0.90	2.57
SSC _{min} (gl ⁻¹)	0.00	0.10	-	0.00	0.02
SD(gl ⁻¹)	0.24	0.17	-	0.05	0.14
SSL(10 ⁶ t)	0.048	0.043	-	0.075	0.050
SSY (tkm ² año ⁻¹)	56.07	59.24	-	11.60	14.66

Tabla 1. Concentraciones de Sedimentos en Suspensión (SSC), Carga Total (SSLoad) y Específica (SSYi eld) para el año hidrológico 2015-2016 en las secciones de monitoreo de la Cuenca del Cinca (ver ubicación en Fig. 2),

Tabla 1. Suspended Sediment Concentrations (SSC), Loads (SSL) and Yield (SSY) for 2015-2016 hydrological year at the monitoring sections of the Cinca basin (see location in Fig. 2).

Confederación Hidrográfica del Ebro-Servicio Automático de Información Hidrológica-SAIH, (en adelante, CHE-SAIH). También se han utilizado datos de profundidad del agua en el río Cinca en Monzón (CHE-SAIH), y en el río Cinca en Ainsa y el río Ésera en Olvena, en este caso corresponden a datos obtenidos mediante sondas de presión (i.e. TruTrack® WT-HR y sensor Campbell CS451). Las curvas de tarado

(i.e. relación profundidad agua -h- y caudal -Q-) se han calculado mediante el uso de equipos acústicos equipados con la tecnología Doppler (i.e. ADCP-river surveyor M9) para la obtención de caudal y secciones topográficas. Estas secciones se han comparado y validado con las curvas h/Q del CHE-SAIH. Para la estación de Ésera-Olvena las secciones topográficas fueron medidas mediante rtk-GPS (Leica VIVA ® GS15), la rugosidad de la sección ha sido extraída a partir de la caracterización granulométrica del lecho por el método de Wolman (1954), y se han realizado aforos con velocímetro (i.e. Valeport ® 801 Flow Meter).

Balance sedimentario.

En 5 de las 7 estaciones muestreadas los datos de concentración de sedimento en suspensión (i.e. SSC), se han medido mediante sensores de turbidez (i.e. NEP 1000 y 3000 NTUs, Campbell® OBS 3000, OBS-3+) y muestreadores automáticos tipo ISCO. Los datos se han almacenados en dataloggers

Campbell® CR200x. En las 2 estaciones restantes (Cinca-Monzón y Cinca-Fraga) los datos de turbidez utilizados provienen de las estaciones de calidad de aguas SAICA (i.e. red de alerta de calidad de aguas, CHE).

La calibración de los sensores (i.e. relación de turbidez- NTU- con SSC g/l) se ha llevado a cabo mediante la obtención de muestras de SSC en eventos competentes mediante ISCOs y muestras manuales (aproximadamente 1000 muestras, cubriendo todo el rango de medida de los sensores), filtradas y secadas en laboratorio (i.e. microfibras de tamaño 1.2 µm).

En las estaciones de Ésera-Olvena y Cinca-Grado el balance se ha realizado recogiendo muestras puntuales de SSC (i.e. ISCOs) en eventos competentes.

Resultados preliminares

Se presentan los resultados del balance sedimentario en la Cuenca del río Cinca para el año hidrológico 2015-2016, (ver tabla 1, figura 2), sin incluir las estaciones de Ésera-Olvena y Cinca-Fraga, que están en revisión. En las zonas de cabecera, las cuales representan las áreas fuente de sedimentos y presentan un relativamente bajo impacto antrópico (ríos Ara y Cinca en Aínsa) se han transportado más de 90.000 toneladas de sólidos en suspensión (entrada en el embalse de Mediano), suponiendo una carga específica de 115 t/km². Esta cantidad es 10 veces mayor que la cuantificada en la parte media y baja de la cuenca (11 y 15 t/km², respectivamente). Se considera que la totalidad de la diferencia de carga registrada es retenida en los embalses de Grado y Mediano (Figura 1).

La figura 2 muestra la distribución espacial de la carga sedimentaria. Los resultados indican que existe una recuperación sedimentaria importante, aguas abajo del embalse de Grado. El río recupera y transporta un total de 75.000 t/año, tan solo 45km aguas abajo de la última presa. Aunque se trata de resultados preliminares (en revisión) que se verán muy ampliados cuando se añada las estaciones restantes y todo el período temporal, se considera que este incremento se podría explicar por los aportes del río Vero en este tramo de cuenca (cuenca poco impactada, con alta disponibilidad de sedimento). Además,

40km aguas abajo, en el margen derecho del río, el río Alcanadre (SSL = 50000 t, levemente impactado), acentúa la recuperación sedimentaria tal y como muestra la figura 2 y la tabla 1.

Este estudio es fundamental para proporcionar información referente al aporte sedimentario del río, los posibles efectos de futuros impactos, y para diseñar programas de restauración fluvial en el marco de los Planes de Cuenca.

Agradecimientos

El primer autor tiene un contrato pre-doctoral del MECID (FPU 13/00168). Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos Morphsed (CGL2012-36394) y MorphPeak (CGL2016-78874-R), financiados por Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER. Los autores forman parte del Grupo de Investigación de Dinámica Fluvial-RIUS, Grupo Consolidado reconocido por la Generalitat de Catalunya (2014 SGR 645). Se agradece el CERCA Programme de la Generalitat de Catalunya; y la información ofrecida por la Confederación Hidrográfica del Ebro, específicamente, al Sistema Automático de Información Hidrológica y Calidad de Aguas.

Bibliografía

- Batalla, R.J., Gómez, C.M., Kondolf, G.M. 2004. Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 290: 117-136
- Batalla, R.J., Vericat, D., Martínez, T.I. 2006. River channel changes downstream from dams in the lower Ebro River. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. B.*, 143, 1-14.
- Kondolf, G.M. 1997. Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management*, 21(4): 533-551.
- Kouwen, N., Unny, T.E 1973. Flexible roughness in open channel. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 99, 713-728.
- Muñoz-Narciso, E., Vericat D., Smith, M., Batalla, R.J. 2018. Cambios morfológicos (1956-2012) en un río de gravas afectado por múltiples impactos antrópicos (río Cinca, Pirineos Centrales). En: XV Reunion Nacional de Geomorfología, (en prensa).
- Salant, N.L. 2011. 'Sticky business': The influence of streambed periphyton on particle deposition and infiltration. *Geomorphology*, 126: 3-4. Special Issue, 350-363.
- Ward, J.A. y Stanford J.A. 1979. *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press: New York.
- Williams, G.P. y Wolman, M.G. 1984. *Downstream Effects of Dams on Alluvial Rivers*. US Geological Survey Professional Paper 1986.
- Wolman, M.G. 1954. A method of sampling coarse bed material. *American Geophysical Union Transactions*, 35, 951-956.