



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-401

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## **Avances en eco-geomorfología: aplicación de una nueva técnica experimental para el estudio del transporte de sedimentos en cauces fluviales**

VERICAT, D.<sup>1,2</sup>, BATALLA, R.J.<sup>3,1</sup> y GIBBINS, C.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Àrea de Hidrologia.

<sup>2</sup> Centre for Catchment and Coastal Research, Institute of Geography and Earth Sciences, Aberystwyth University, Gales.

<sup>3</sup> Universitat de Lleida, Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl

<sup>4</sup> Aberdeen University, Geography and Environment Department, Scotland.

### **Resumen**

Los muestreadores de presión diferencial se han utilizado tradicionalmente para la medición de la carga de fondo en ríos de grava y arena. Son conocidos, sin embargo, los errores que conllevan el uso de estas técnicas. En el caso de ríos de gravas, las causas principales hay que buscarlas en el bloqueo de la boca del muestreador y en la falta de contacto firme y estable con el lecho del río. Igualmente es muy difícil el muestreo durante los instantes iniciales de las crecidas debido al tiempo de reacción necesario del observador. Éste último problema ha sido subsanado mediante equipos automáticos como las trampas tipo Birkbeck. Su principal problema, no obstante, son los altos umbrales de detección, lo que implica que las trampas no puedan proporcionar información detallada durante episodios con bajas tasas de transporte. A pesar de estos esfuerzos, el análisis del inicio de movimiento continúa siendo un tema muy poco estudiado en el campo de la dinámica fluvial. En este contexto, el presente trabajo presenta un canal de ensayos portátil que permite manipular in situ las condiciones hidráulicas del flujo hasta llegar al umbral de inicio de movimiento del material del lecho. Además, el canal permite estudiar la deriva de macro-invertebrados en relación con las características hidráulicas alcanzadas durante las manipulaciones y la inestabilidad del lecho. Los resultados obtenidos durante dos series de experimentos de campo en un río de gravas con parches de material fino (Ribera Salada, Pre-Pirineo Catalán) y en un río de arenas y gravas (Arbúcies, Cordillera Costera Catalana) han permitido determinar con precisión el umbral de movimiento en relación con el incremento de la velocidad del flujo y, por primera vez, corroborar con datos empíricos la relación entre la deriva de animales y la carga de fondo.

### **Palabras clave**

Carga de fondo, inicio de movimiento, ríos de grava, parches de arena, macro-invertebrados.

### **1. Introducción**

Los ríos transportan agua y sedimentos de manera continua en el espacio y esporádica en el tiempo desde las zonas de cabecera a las zonas de sedimentación. De manera general, los ríos transportan material en dilución, suspensión, saltación y tracción. La combinación del transporte en saltación y en tracción se denomina carga de fondo. La carga de fondo controla numerosos aspectos en los procesos bióticos (i.e. movilidad macro-invertebrados) y abióticos (i.e. morfología fluvial) aunque puede ser un porcentaje menor del total de la carga sedimentaria.

La complejidad de tamaños y agrupaciones de sedimentos en ríos de gravas hace que el inicio de movimiento de la carga de fondo no se produzca alrededor de un pequeño rango de valores de energía de flujo. Este hecho dificulta su correcta determinación. Ashworth y

Ferguson (1989) propusieron una clasificación del transporte de carga de fondo a partir de tres fases distintas: **(I)** Fase inicial en la que las condiciones de energía del flujo solo permiten iniciar el movimiento de la fracciones granulométricas más finas; solo la arena se pone en movimiento. Dicho proceso genera tasas de carga de fondo bajas y que tienen como fuente de sedimentos casi única los parches (i.e. agrupaciones de arena y gravas finas en lechos de ríos de gravas y cantos ubicadas alrededor de partículas de mayor tamaño aprovechando el efecto de *protección hidráulica* que estas proporcionan, Laronne et al. 2001). **(II)** A medida que las condiciones hidráulicas que actúan sobre el lecho aumentan se ponen en movimiento partículas de mayor tamaño. Durante esta segunda fase las partículas son transportadas de manera selectiva. **(III)** Finalmente, cuando el flujo dispone de suficiente competencia para poner en movimiento la capa gruesa superficial del lecho del río el transporte afecta a la totalidad de las fracciones granulométricas del lecho, considerándose q movilidad general.

Los muestreadores de presión diferencial Helley-Smith o similares (e.g. Figura 1a) han sido tradicionalmente la técnica utilizada para la medición de la carga de fondo. Aunque la mayoría de estos muestreadores han sido diseñados para ser aplicados en ríos de arena son utilizados en ríos de gravas sin previa estimación de su eficiencia. Además, es conocida la subestimación del transporte de material fino que conlleva el uso de estas técnicas. Las causas principales de dicha subestimación hay que buscarlas en i) el bloqueo de la boca del muestreador por partículas gruesas y ii) en la falta de contacto firme y estable con el lecho del río debido a su irregularidad. La descripción y el análisis de estas fuentes de error se presenta en el trabajo de Vericat et al. (2006). De la misma forma, el manejo de estos muestreadores no es automático, lo que significa que el usuario necesita desplazarse a las secciones de muestreo durante episodios en los que la condiciones hidráulicas del flujo son superiores a las de inicio de movimiento. Así, es muy difícil llegar a muestrear durante los instantes iniciales de las crecidas. Éste problema ha sido parcialmente subsanado mediante equipos automáticos de medición como las trampas de carga de fondo tipo Birkbeck (e.g. Figura 1b). No obstante, el principal problema de esta instrumentación es el alto umbral de detección, lo que implica que las trampas no puedan proporcionar a menudo información durante episodios con bajas tasas de transporte de carga de fondo.

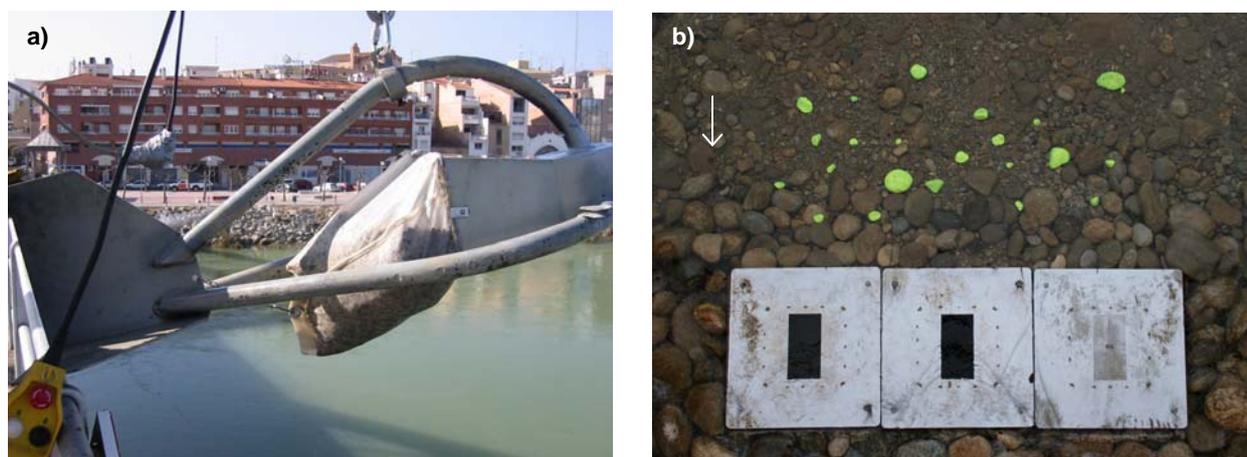


Figura 1. (a) Muestreador de presión diferencial Helley-Smith de 152 mm de abertura de boca. La foto está tomada en la sección de muestreo de sedimentos de Móra d'Ebre en el río Ebro. (b) Vista en planta de tres trampas de carga de fondo tipo Birkbeck instaladas en la Ribera Salada (Pirineo Catalán) por el equipo de geomorfología fluvial del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya y de la Universitat de Lleida. La instalación está en funcionamiento desde el año 2006. En la fotografía se observan trazadores pintados ubicados aguas arriba de las trampas para el estudio al detalle de la movilidad del lecho del río. La flecha indica la dirección del flujo.

Recientemente, de manera específica, García et al. (2007) implementaron técnicas indirectas de grabación con video para el estudio de procesos de movilidad a micro-escala. A pesar de estos esfuerzos y de las importantes implicaciones para la modelización de la carga

de fondo y la caracterización del comportamiento de la fauna bentónica, el estudio del inicio de movimiento de la carga de fondo continúa siendo un tema muy poco estudiado en el campo de la geomorfología fluvial.

## 2. Objetivos

En el presente trabajo se describen los resultados obtenidos durante dos series de experimentos de campo en un río de gravas con parches de material fino (Ribera Salada, Pirineo Catalán) y en un río de arenas (Arbúcies, Cordillera Litoral Catalana). Los experimentos se han llevado a cabo mediante un canal de ensayos portátil (Gibbins et al, 2007; Vericat et al., 2007). De manera específica se analiza i) el umbral de inicio de movimiento de la carga de fondo y ii) la relación entre la hidráulica del flujo, la estabilidad del lecho y la deriva de animales (macro-invertebrados) durante distintos episodios de movilidad.

## 3. Metodología

Los experimentos de campo se han realizado en un río de gravas con parches de material fino (Ribera Salada, Pirineo Catalán, Figura 2a, b, d) y en un río de arenas (Arbúcies, Cordillera Litoral Catalana, Figura 2a, c, d). Los experimentos se han llevado a cabo mediante un canal de ensayos portátil (Figura 3a) que permite experimentar directamente en el cauce sin alterar su estructura sedimentaria. El canal permite la manipulación de las condiciones hidráulicas *in situ*, simulando las condiciones hidráulicas y de transporte de sedimentos asociadas a episodios de crecidas. Tal y como muestra la figura 3 consta de dos partes: i) zona fija experimental y de medidas y ii) puertas móviles que permiten manipular el flujo. En la parte final de la zona experimental se fija una red para el muestreo del transporte de sedimentos y la deriva de macro-invertebrados. Mediante la apertura de las puertas se incrementa el caudal en la zona experimental. Para más información sobre el funcionamiento de éste ver Gibbins et al. (2007) y Vericat et al. (2007).

Cada experimento consta de tres fases. **(I)** Condiciones naturales o de referencia: sin el canal de ensayos. Se mide la profundidad del agua y la velocidad del flujo mediante un velocímetro electromagnético Valeport 801. **(II)** No manipulación: puertas en paralelo (Figura 3b, c). Se miden las variables hidráulicas (profundidad y velocidad) y se muestrea el transporte de sedimentos como carga de fondo en la salida del canal. **(III)** Manipulación: puertas abiertas (Figura 3b, d). Se abren las puertas con el objetivo de incrementar la anchura de la sección de entrada de agua a la zona experimental. Ello conlleva un incremento del caudal y la velocidad. Además, con el objetivo de incrementar la fuerza hidráulica sobre el lecho, se genera un chorro de agua de mayor velocidad mediante una placa de metraquilato que se fija verticalmente en la parte inicial del canal. En el interior de la zona experimental se miden las mismas variables indicadas anteriormente (para más detalles ver Gibbins et al., 2007 y Vericat et al., 2007). Se han realizado un total de 60 experimentos, treinta en cada uno de los ríos.

## 4. Resultados

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos en los experimentos de campo. Parte de los resultados han sido publicados en revistas internacionales. Para más detalles, se recomienda la revisión de los trabajos de Gibbins et al. (2007 y 2009), Vericat et al. (2007 y 2008) y Batalla et al. (2009).

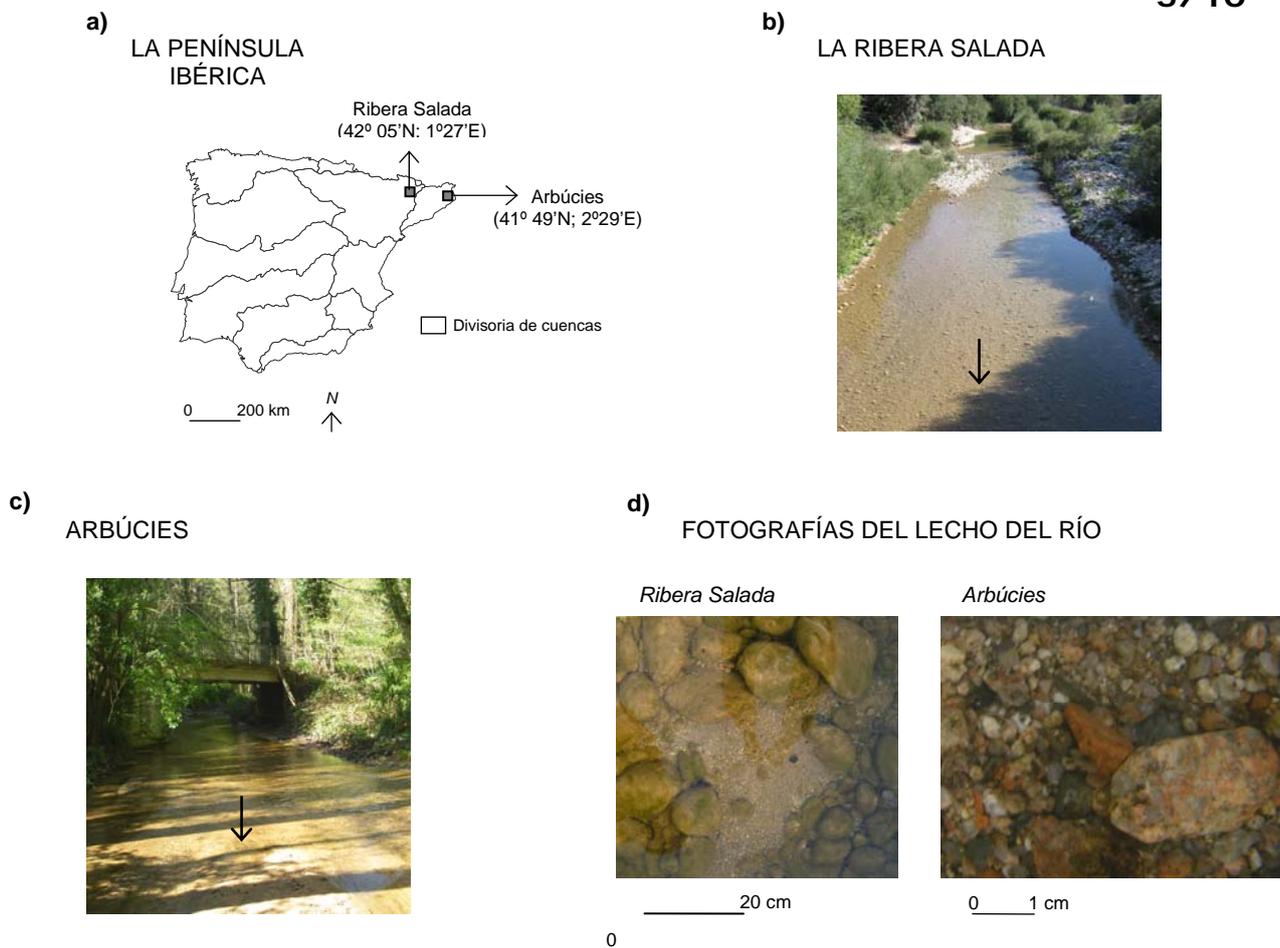


Figura 2. (a) Ubicación de los ríos de estudio en la Península Ibérica. Fotografías generales de las áreas de estudio en (b) la Ribera Salada y (c) Arbúcies. (d) Fotografías representativas del material del lecho en las áreas experimentales. La fotografía del lecho de la Ribera Salada ha sido modificada de Vericat et al. (2008).

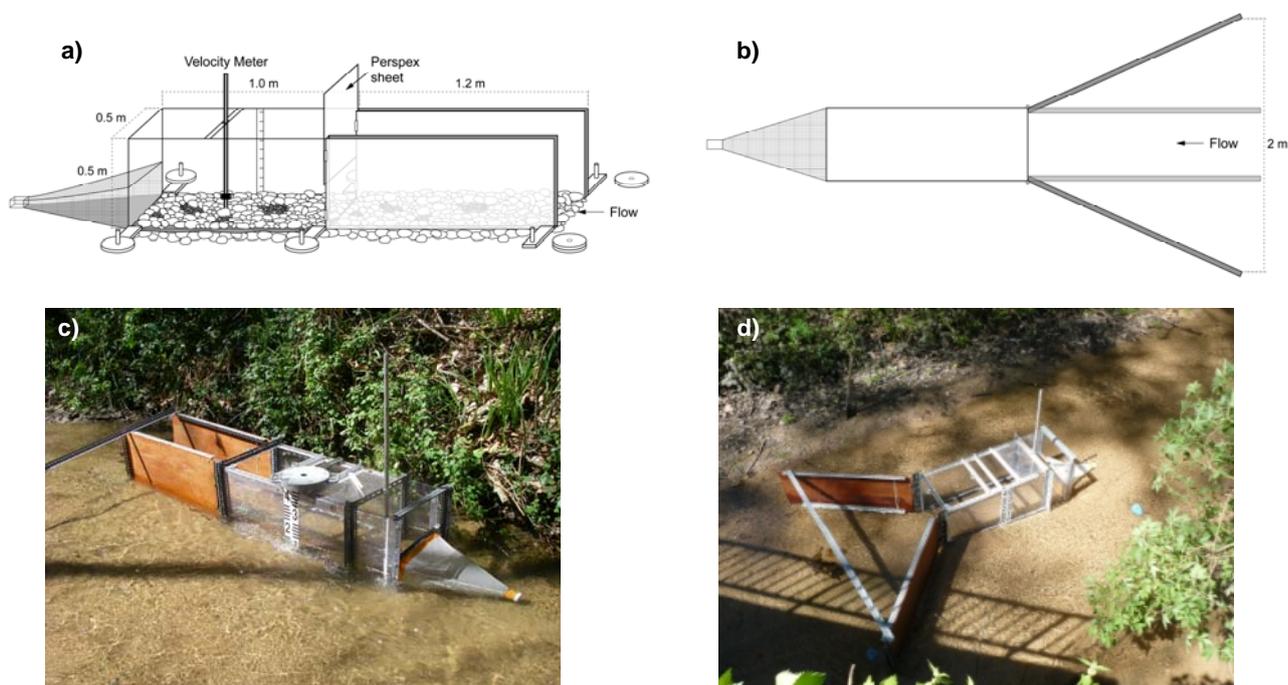


Figura 3. (a) Esquema del Canal de ensayos portátil. (b) Esquema en planta de la fase (II) No manipulación (puertas en gris claro) y la (III) Manipulación (puertas en gris oscuro). (c) Fotografía del canal en condiciones de no manipulación. (d) Fotografía del canal en condiciones de manipulación. Para más detalles ver Gibbins et al. (2007) y Vericat et al. (2007).

## Condiciones naturales o de referencia

### *Ribera Salada (lecho gravas)*

Los experimentos realizados en la Ribera Salada (i.e. N= 30) se ubicaron en una sección de río de aproximadamente 150 metros con una pendiente media del 1% y caracterizada, morfológicamente, por una sucesión de rápidos y secciones de lecho plano. El lecho del río en la sección experimental presenta parches de material fino. Estas estructuras ocupan el 20% de la totalidad de la sección de estudio (Müller et al., 2008). Los parches de la Ribera Salada se engloban dentro de la categoría de micro-parches (siguiendo la clasificación de Church y Hassan, 2005). El tamaño medio de los sedimentos en estas estructuras es de 1,6 mm, oscilando entre los 0,6 y los 2,2 mm. Contrariamente, si el análisis granulométrico se realiza a escala de tramo el valor medio de la distribución del material superficial es de 49 mm. De esta forma, sedimentológicamente, el tramo de estudio se considera de gravas con presencia de parches. Se presentan los valores de velocidad en la proximidad del lecho del río como variable representativa de la energía del flujo en cada uno de los experimentos. La velocidad del flujo a 0,2d (donde d es la profundidad en la que se toma la muestra) durante la fase I de los experimentos osciló entre 0,01 y 0,7 m/s. El posicionamiento del canal de ensayos en el lecho con las puertas en paralelo (i.e. fase II) no produjo ningún cambio substancial en la hidráulica del flujo. Así, el valor medio del cociente entre la velocidad a 0,2d durante fase I y durante la fase II en cada uno de los experimentos es de 0.83; la discrepancia entre estos valores es inferior al 20%, claramente en el rango de variabilidad obtenida en condiciones estables de flujo y durante observaciones sucesivas de alta frecuencia (i.e. segundo). Durante estas dos primeras fase de los experimentos no se observó transporte de carga de fondo. Se realizó la caracterización de la comunidad de macro-invertebrados en la sección experimental. Se obtuvo un valor medio de 882 animales/m<sup>2</sup>. El valor medio de deriva de macro-invertebrados durante condiciones naturales fue de 2,7 animales/m<sup>2</sup>/minuto. Tan solo el 0,5% de los animales de la comunidad bentónica se han encontrado en las muestras de deriva de macro-invertebrados durante estas condiciones.

### *Arbúcies (lecho de arenas i gravas finas)*

El análisis de la morfología fluvial y de las características granulométricas del lecho del río Arbúcies permite la distinción de dos unidades morfosedimentarias: a) sección de lecho plano y b) sección de rápidos y pozas. En la primera de éstas no se observan estructuras sedimentarias; el material del lecho es claramente unimodal (moda en la fracción arena) y los patrones de velocidad son constantes sin presencia de células secundarias de circulación asociadas al efecto de la rugosidad del lecho. La sección de rápidos y pozas presenta material de mayor tamaño; con presencia de distribuciones bimodales (moda en las fracciones grava y arena); y existen estructuras sedimentarias que facilitan la modificación de los patrones de velocidad y la presencia de parches de arena ubicados aguas abajo de éstas aprovechando las zonas de protección hidráulica (i.e. menor velocidad). El valor medio de las distribuciones granulométricas del lecho de río Arbúcies osciló entre los 2 y 7.5 mm. La pendiente media de la sección es del 0.8%. En total se realizaron 30 experimentos. La velocidad a 0,2d durante la fase de condiciones naturales de los experimentos osciló entre 0,2 y 0,6 m/s. No se observó ninguna clara distinción entre los valores obtenidos en la morfología de lecho plano y en la de rápidos y pozas. De la misma forma, el posicionamiento del canal de ensayos en el lecho con las puertas en paralelo (i.e. fase II) no significó ningún cambio substancial respecto los valores obtenidos durante la fase I. Durante ambas condiciones se observó transporte de carga de fondo. La tasa media de carga de fondo en la zona de lecho plano fue de 2.84 g/sm mientras que en los rápidos y pozas se obtuvo un valor medio de 2.38 g/sm. El valor medio de las distribuciones granulométricas de las muestras de carga de fondo osciló entre 1,9 y 1,2 mm. El valor medio de la densidad de macro-invertebrados fue 4 veces superior en la unidad



de rápidos y pozas que en la de lecho plano (i.e. 454 vs 108 animales/m<sup>2</sup>). El valor medio de deriva de macro-invertebrados fue similar en ambas unidades, 17 y 10,6 animales/m<sup>2</sup>/minuto en la zona de rápidos y pozas y en la de lecho plano respectivamente. Sin embargo, si se expresa la tasa de deriva de manera relativa (i.e. deriva instantánea), se observa una clara diferencia entre morfologías: en la sección de lecho plano, el 20% de los animales presentes en la comunidad bentónica son los que forman parte de la deriva de macro-invertebrados durante condiciones naturales mientras que dicho porcentaje se reduce al 2% en la unidad de rápidos y pozas.

### Respuestas asociadas a la manipulación del flujo

Al abrir las puertas del canal de ensayos portátil se modificaron las condiciones hidráulicas en la zona experimental. La obertura de las puertas en la fase III de los experimentos facilita el aumento del caudal y el incremento de la energía del flujo en el área experimental. La figura 4 muestra el cambio de la energía del flujo entre las fases II y III de los experimentos en la Ribera Salada. Se obtuvo carga de fondo en 23 de los 30 experimentos durante la fase de manipulación en dicho río. El valor medio de las tasas de carga de fondo fue de 0,75 g/sm con una tasa máxima de 5,2 g/sm. El tamaño medio de partícula en las muestras de carga de fondo oscila entre 1,4 y 2,5 mm, mientras que el calibre máximo alcanza los 41 mm. De la misma forma, en Arbúcies también se incrementó la energía del flujo durante la fase III de los experimentos. El promedio de dicho incremento fue del 35% en la sección de rápidos y pozas y del 50% en la sección de lecho plano. Aunque se observó carga de fondo durante condiciones naturales o de no manipulación (fase I y II), la obertura de las puertas incremento substancialmente las tasas de carga de fondo. La tasa media de carga de fondo fue de 13 g/sm y 41 g/sm en la sección de rápidos y pozas y en la de lecho plano respectivamente, claramente superiores a las obtenidas sin manipulación.

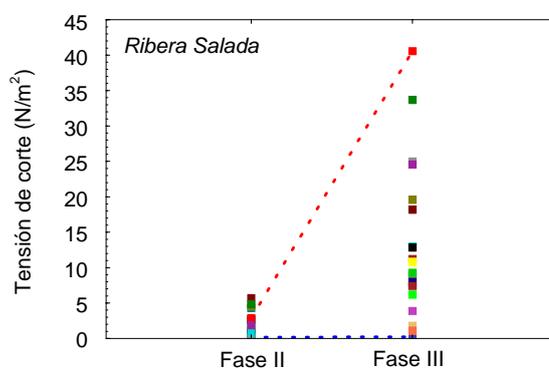


Figura 4. Resumen de las condiciones hidráulicas durante las fases II y III de los experimentos en la Ribera Salada. Se presentan los valores de tensión de corte como representativos de la energía del flujo. La tensión de corte se ha calculado mediante la velocidad del flujo a 0,2d y aplicando la ecuación de Whiting y Dietrich (1990).

Las tasas de deriva de macro-invertebrados también incrementaron durante las condiciones de manipulación. En el caso de la Ribera Salada, dichas tasas oscilaron entre 8 y 487 animales/m<sup>2</sup>/minuto, lo que supone tasas 35 veces superiores. El 3,6% de los animales identificados en la caracterización bentónica fueron encontrados en las muestras de deriva, claramente superior al 0,5% calculado durante las condiciones de no manipulación. En Arbúcies las tasas de deriva de macro-invertebrados se incrementaron en más de una orden de magnitud. Hasta el 80% de los animales de la comunidad bentónica se identificaron en las muestras de deriva en la sección de lecho plano mientras que en la sección de rápidos y pozas dicho porcentaje raramente sobrepasó el 10%, valor próximo al de la Ribera Salada.

## Geomorfología y ecología y: procesos y respuestas

Los resultados obtenidos en los experimentos de campo permiten relacionar *in situ* la hidráulica del flujo, la estabilidad del lecho y la movilidad de macro-invertebrados. Vericat et al. (2008) demostraron que las estructuras sedimentarias y granulométricas controlan el inicio de movimiento, las tasas de transporte y las características granulométricas de la carga de fondo en ríos de gravas con parches de sedimento fino como el caso de la Ribera Salda. Aunque dichas estructuras sedimentarias tan solo son, de manera general, la principal área fuente de sedimentos en situaciones de transporte marginal, su movilidad es sumamente importante para el estudio de la deriva de macro-invertebrados (Gibbins et al., 2007). Las tasas de deriva incrementan substancialmente justo en el punto en que las arenas y las gravas finas de los parches se ponen en movimiento; una mínima inestabilidad de las partículas finas en parches de ríos de gravas genera un incremento exponencial de la deriva de macro-invertebrados (Figura 5a). De esta forma, aunque el impacto geomorfológico de este fenómeno es mínimo, el transporte marginal tiene importantes efectos sobre la ecología fluvial (Gibbins et al., 2007). En ríos de arenas, como lo es el de Arbúcies en la unidad de lecho plano, la menor estabilidad del lecho facilita mayores tasas de deriva de macro-invertebrados en condiciones naturales o de referencia. El incremento de la energía del flujo incrementa, a su vez, las tasas de carga de fondo. La alta movilidad de este tipo de lechos propicia cambios en la geometría del cauce. Los procesos observados en la unidad de rápidos y pozas son similares a los observado en la Ribera Salada. De esta forma, los resultados apuntan que la alternancia de unidades morfológicas contrastadas granulométricamente y geométricamente, conlleva la aparición de áreas fuente y áreas de transferencia de macro-invertebrados. En las zonas de alta complejidad granulométrica como lo es la unidad de rápidos y pozas, una pequeña parte de la comunidad bentónica se encuentra en las muestras de deriva. A medida que incrementa la energía del flujo las tasas de deriva (total e instantánea) incrementan (Figura 5b). Estos animales son desplazados a la sección de lecho plano en la que la alta movilidad en esta no propicia zonas de refugio y estos son desplazados involuntariamente y de manera continua aguas abajo hasta que una zona de mayor complejidad en la que el efecto de la rugosidad de forma o de partícula permita encontrar refugio y, de esta forma, romper la continuidad de las tasas de deriva.

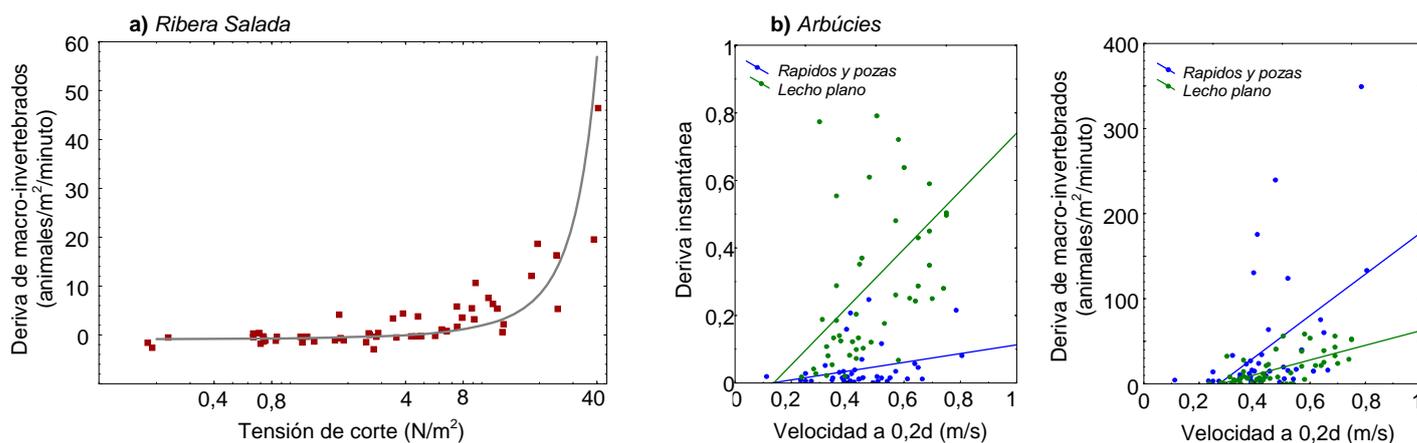


Figura 5. (a) Relación entre tensión de corte y deriva de macro-invertebrados para los experimentos de la Ribera Salada (modificado de Gibbins et al., 2007). Se observa que la deriva de macro-invertebrados aumenta exponencialmente cerca de los  $9 \text{ N/m}^2$ , valor próximo al inicio de movimiento de los parches (Vericat et al., 2008). (b) Relación entre velocidad en las proximidades del lecho (i.e.  $0,2d$ ) y deriva de macro-invertebrados instantánea y absoluta para los experimentos de Arbúcies y para cada una de las unidades morfológicas.

## 5. Conclusiones

Los experimentos de campo realizados mediante un canal de ensayos portátil han permitido analizar la relación entre el inicio de movimiento de la carga de fondo, la estructura sedimentaria y granulométrica del lecho del río y la deriva de macro-invertebrados. Las dificultades técnicas asociadas al muestreo de sedimentos durante condiciones de transporte marginal y en lechos altamente móviles habían sido hasta ahora un factor limitante para este tipo de estudios. De la misma forma, la dificultad en el muestreo de la deriva de macro-invertebrados en situaciones de alta energía habían sido las causas de la práctica nula presencia de estudios con el objetivo de estudiar las relaciones entre energía, estabilidad y movilidad de macro-invertebrados. Las principales conclusiones que se derivan de este trabajo son: **(a)** El canal de ensayos portátil permite estudiar con detalle mediante experimentos de campo el proceso de inicio de movimiento de las partículas ubicadas en parches en ríos de gravas, fenómeno relativamente frecuente y que tiene importantes implicaciones en la ecología del sistema fluvial. De la misma forma, el canal puede ser utilizado para estudiar la dinámica de la carga de fondo en lechos de arenas y las implicaciones de la complejidad granulométrica y geométrica en la deriva de macro-invertebrados. **(b)** La deriva de macro-invertebrados no sigue un patrón lineal y positivo con la energía del flujo, está influenciada por las características y dinámica del cauce y de sus sedimentos.

## 6. Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado en el marco de un proyecto financiado por la Leverhulme Trust (Reino Unido). El primer autor disfrutó de una beca de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació durante la realización de parte de los experimentos. Agradecemos los comentarios de Dubrovka Pokrajac que han servido para mejorar el diseño del canal de ensayos.

## 7. Bibliografía

ASHWORTH P.J.; R.I. FERGUSON; 1989. Size-selective entrainment of bed load in gravel bed streams. *Water Resources Research* 25(4) 627–634.

BATALLA, R.J.; VERICAT, D.; GIBBINS, C.; GARCIA, C.; 2009. Incipient Bed- Material Motion in Gravel-bed Rivers. *United States Geological Survey Prof.* Aceptado, en prensa.

GARCIA C.; COHEN, H.; REID, I; ROVIRA, A.; UBEDA, X.; LARONNE, J.B.; 2007. Processes of initiation of motion leading to bedload transport in gravel-bed rivers. *Geophysical Research Letters* 34 (6) L06403.

GIBBINS, C.N.; VERICAT, D.; BATALLA, R.J.; 2007. When is stream invertebrate drift catastrophic? The role of hydraulics and sediment transport in initiating drift during flood events. *Freshwater Biology* 52 2369-84.

GIBBINS, C.N.; BATALLA, R.J.; VERICAT, D.; (2009), Invertebrate drift and benthic exhaustion during disturbance: Response of mayflies (Ephemeroptera) to increasing shear stress and river-bed instability. *River Research and Applications*. Aceptado, en prensa.

LARONNE J.B.; GARCIA, C.; REID, I; 2001. Mobility of patch sediment in gravel-bed streams: patch character and its implications for bedload. En: Mosley, M.P. (ed.): *Gravel-bed Rivers V.* 249-289. New Zealand Hydrological Society. Wellington, NZ.

MÜLLER, E. N.; BATALLA, R.J.; BRONSTERT, A.; GARCIA, C.; 2008. Modelling bedload transport rates during small floods in a gravel-bed river. *J. Hydraul. Eng.* 134(10) 1430– 1439.

VERICAT, D.; CHURCH, M.; BATALLA, R.J.; 2006. Bedload bias: Comparison of measurements obtained using two (76 and 152 mm) Helley-Smith samplers in a gravel-bed river. *Water Resources Research* 42 W01402.

VERICAT, D.; BATALLA, R.J.; GIBBINS, C.N.; 2007. A new tool to study links between sediment transport and invertebrate drift. *Eos Trans. AGU* 88(41) 410.

VERICAT, D.; BATALLA, R.J.; GIBBINS, C.N.; 2008. Sediment entrainment and depletion from patches of fine material in a gravel-bed river. *Water Resources Research* 44 W11415 1-15.

WHITING, P.J.; DIETRICH, W.E.; 1990. Boundary shear stress and roughness over mobile alluvial beds. *Journal of Hydraulic Engineering* 116 1495-1511.

