

IV Reunión de Geomorfología
Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds.
1996, Sociedad Española de Geomorfología
O Castro (A Coruña)

MEDICIÓN CONTINUA DEL TRANSPORTE DE FONDO EN UN RÍO DE GRAVAS: LA TORDERA

García, C., Sala, M. y Rovira, A.

GRAM, Depto. de Geografía Física. Facultad de Geografía y Historia.
Universitat de Barcelona. 08028 Barcelona

RESUMEN

Se ha instalado una estación automática para el control del transporte de fondo en un río de gravas. La estación está compuesta por dos trampas con un sistema de presión sobre un cojín (tipo Birbeck) que permite la obtención de un registro continuo de carga de fondo. En el artículo se muestra el funcionamiento del sistema, su calibración y los primeros resultados obtenidos. Es la primera vez que se obtiene un registro continuo del transporte de fondo en un río de la Península Ibérica.

Palabras clave: carga de fondo, río de gravas, trampas, estación automática

ABSTRACT

An automatic station for monitoring bedload transport has been installed in a gravel-bed river. The station has two slot samplers with the pressure-pillow system (Birbeck-type) that allow a continuous measurement of bedload transport. The paper shows the bedload sampler operation, the load tests and the first results obtained. It is the first time that bedload transport is registered continuously in a river of the Iberian Peninsula.

Key-words: bedload, gravel-bed river, sediment sampler

INTRODUCCIÓN

La medida directa del transporte de fondo en ríos de gravas es una tarea difícil y problemática. A la ya conocida naturaleza discontinua del transporte, sus variaciones temporales y espaciales, hay que unir los problemas técnicos que comporta la toma de medidas en el campo. Gran parte de las investigaciones sobre carga de fondo se han realizado con muestreadores manuales como el de MÜLHOFFER (1933), el de Arnhem (SCHAANK, 1937) o el conocido HELLEY & SMITH (1971). Todos ellos presentan problemas de medición en relación a su eficiencia hidráulica, su capacidad para el muestreo de diferentes tamaños y al tiempo de muestreo.

Las técnicas de control automático han aportado valiosos datos que están ayudando a entender el complejo mundo del transporte de fondo. Dos técnicas han sido probadas con resultados positivos en condiciones naturales. Una de ellas es semiautomática: el tubo vortex (MILHOUS 1973, HAYWARD

1979 y TACCONI & BILLI 1987), con el que MILHOUS (1973) obtuvo las primeras medidas continuas, las cuales han sido pieza clave para el estudio de importantes cuestiones sobre la dinámica del transporte de fondo, y cuya base de datos se ha convertido en punto de referencia para todos los estudios sobre este tema. La segunda es automática: el sistema de presión en un cojín, tipo Birbeck (REID *et al.*, 1980), que permite un manejo automático del sistema. Es de gran utilidad en ríos con crecidas súbitas o con eventos de un solo pico, y ha sido probada con éxito en ríos perennes (KUHNLE *et al.*, 1988) y en ríos efímeros (LARONNE *et al.*, 1992).

En este artículo se presentan la instalación de una estación automática del tipo Birbeck y las primeras tasas continuas de transporte de fondo que se obtienen en la Península Ibérica. Los datos corresponden a un río de gravas mediterráneo de montaña media: La Tordera.

ÁREA DE ESTUDIO

La Tordera es un río perenne de gravas localizado en la Cordillera Prelitoral de las Cordilleras Costero Catalanas (figura 1). Su red de drenaje transcurre por la vertiente sudoeste del macizo del Montseny. La cuenca en la estación de control del transporte de fondo tiene un área de 35 km². La pendiente media del cauce es del 3% a lo largo de 1 km. aguas arriba de la estación. El 87 % de la cuenca está configurada por pizarras del Cámbrico, un 11% por granodioritas y hay pequeñas áreas formadas por diques porfídicos, arcillas rojas y areniscas del Triásico.

El clima de la cuenca alta de La Tordera es subhúmedo mediterráneo. La precipitación media anual en el centro de la cuenca, situada a 500 m de altitud, oscila entre los 800 y los 1000 mm. En la punta Este de la cabecera (a 1712 m) es de 1042 mm, a partir de un registro de 40 años. Las variaciones en la precipitación son muy acusadas debido al gradiente altitudinal y a la dirección de los vientos. La vegetación cubre más del 80 % de la superficie y forma un bosque de encinas.

El canal, con una anchura media de 5,5 metros, está formado por una sucesión de *steps* (rápidos), *pools* (pozas) y lechos planos, en algunos casos con pequeñas barras. Los márgenes que definen el canal tienen una pendiente moderada y el caudal *bankfull* (cauce lleno) es de 5 m³s⁻¹.

Una estación de aforo con un registro de 33 años se halla 5 km aguas abajo (figura 1). El análisis de esta serie de caudales muestra un caudal continuo todo el año con una descarga media anual de 0,80 m³s⁻¹. Mediante una muestra volumétrica de 60 kg del material del lecho (superficie y subsuperficie) recogida inmediatamente aguas arriba de la estación se obtuvo un diámetro medio (D50) de 41 mm. En una barra de material grueso localizada 20 m aguas arriba de las trampas, y mediante un muestreo superficial según el método de Wolman, el D50 obtenido fue de 68 mm.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para medir el transporte de fondo se han utilizado toda una serie de materiales e instrumentos que configuran la denominada estación automática.

Las partes que configuran la estación (figura 2) son:

- Dos cajas de cemento armado instaladas dentro del lecho del río.
- Dos cajas metálicas de acero inoxidable, colocadas dentro de las cajas de cemento.
- Dos cojines de caucho rellenos de agua, ubicados dentro de las cajas de cemento y debajo de las metálicas.
- Dos sensores de presión Druck PTX550 conectados a los cojines de agua.
- Dos tapas metálicas con abertura regulable, colocadas sobre las cajas de cemento .
- Un tubo metálico de acero inoxidable, agujereado para que entre el agua y colocado en el margen izquierdo del río.
- Un sensor de presión Druck PTX550 dentro del tubo como medidor de la altura de la columna de agua.
- Una caja metálica con cierre de seguridad, como receptáculo de los instrumentos más frágiles
- Un registrador de datos Datataker 50 con tarjeta de memoria de 500 K receptor de las conexiones de los sensores de presión y almacenador de las lecturas enviadas por éstos.
- Un tomamuestras de agua ISCO con toma de agua externa.
- Una batería suministradora de corriente al sistema.
- Una viga de hierro transversal al lecho sustentada por dos pies instalados dentro del canal. Este sistema hace las funciones de grúa y en él se acopla la polea y las cadenas que permiten levantar las cajas metálicas llenas de sedimento.

Un segundo tubo metálico, que no se muestra en la figura 2, instalado 69 metros aguas arriba de la estación mide la altura del agua mediante otro sensor de presión, que también está conectado al almacenador de datos. Estos dos sensores permiten un registro continuo de la pendiente del agua durante toda la crecida, sincronizado con los datos de carga de fondo.

La capacidad de las cajas metálicas es de $0,4 \text{ m}^3$ y la abertura transversal de la trampa es de 0,13 m., menor que la adoptada en Turkey Brook por REID *et al*, (1980). La elección de esta medida de abertura fue hecha suponiendo que las tasas de transporte serían más altas en La Tordera, ya que Turkey Brook es un río de las llanuras inglesas; y que permitiría la entrada a más del 90 % de los tamaños encontrados en el lecho del río. Posteriormente las diferentes crecidas nos han demostrado que han entrado en la trampa materiales con un diámetro superior a 130 mm. Esto es debido a la forma elipsoide que caracteriza a los cantos de pizarras.

FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN

La estación tiene un funcionamiento similar a la descrita por LARONNE *et al.*, (1992). El sedimento del lecho, cuando es removido y arrastrado por el agua cae, a través de la abertura, dentro de la caja metálica que yace sobre el cojín. La presión ejercida sobre el cojín es la suma de la columna de agua más el peso de la caja metálica y su contenido (p_p), y es enviado al registrador de datos a intervalos predeterminados de tiempo. El sensor colocado dentro del tubo metálico registra la altura de la columna de agua (p_w). Si bien la masa de la caja metálica se puede ignorar porque permanece constante, los cambios que se producen en p_p son una función dependiente del cambio en el peso sumergido del sedimento acumulado ($_p_s$):

$$_p_s = (p_{p2} - p_{w2}) - (p_{p1} - p_{w1}) \quad (1)$$

Si definimos un coeficiente a , que relacione la presión registrada en el cojín con la masa del sedimento capturado en la trampa, y al conocer el ancho de la abertura de la trampa (w_t), el caudal del transporte de fondo, Q_b , para un intervalo de tiempo t_1 y t_2 puede ser calculado como:

$$Q_b = a \cdot _p_s / w_t(t_2 - t_1) \quad (2)$$

El coeficiente a se calcula empíricamente en el campo y para cada trampa. Esto permite comprobar las diferencias operacionales entre cada una de ellas. Un ejemplo de los resultados obtenidos en la calibración de una de las trampas se muestra en la figura 3. Pesas entre 8 y 15 kgs fueron puestas dentro de la trampa y grabada la presión resultante (fig. 3a). Seguidamente se retiraron las pesas y se grabó la presión resultante (fig. 3b). La respuesta, tanto para la carga como para la descarga, es muy buena, con coeficientes de correlación de 0,99, y no se observa ninguna histéresis entre las acciones de carga y descarga.

RESULTADOS

La estación fue instalada durante el verano de 1994. Se necesitaron tres crecidas para restaurar el canal afectado por la instalación de las trampas. La crecida del 12 de Octubre de 1994, con un caudal punta de $45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, fue la que devolvió el aspecto natural al lecho.

El primer registro continuo de carga de fondo fue obtenido durante la crecida del 10 de Enero de 1995. Desde entonces la estación ha registrado 4 eventos con transporte de fondo. En la figura 4 se muestran las tasas de transporte recogidas en la trampa del centro durante la crecida del 23 de Enero de 1996. Estos resultados se han obtenido mediante la aplicación de la ecuación correspondiente (2) a las presiones registradas durante el evento. Los datos de transporte de fondo fueron recogidos en intervalos de 1 minuto y se presentan en intervalos de 5 minutos, a partir de las medias aritméticas de cada registro de 1 minuto.

La figura 4 refleja fielmente las variaciones temporales de la carga de

fondo en forma de pulsaciones, con unas tasas de transporte relacionadas con el incremento del caudal. La tasa más alta de transporte ($0,680 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$) se da en el primer pico y durante las tres horas que el nivel del agua se mantiene sobre los 42 cm. A partir del nivel más alto alcanzado por el agua, y que se corresponde con tasas medias de $0,450 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, el transporte decae de forma rápida. Se puede decir que no hay una estricta correlación entre la altura del agua y las tasas de transporte. Sin embargo el comportamiento del transporte de fondo en forma de pulsaciones es evidente. Estas pulsaciones indican la importancia de un factor clave en el transporte de sedimentos: la disponibilidad de material, que se presenta en forma de figuras o de ondas de sedimento cuyo paso por la estación coincide con el aumento en las tasas de transporte (REID *et al.*, 1985).

CONCLUSIONES

La instalación de una estación automática para el control del transporte de sedimentos en el río La Tordera nos permite disponer de una información continua y detallada de la carga de fondo, muy escasa en el mundo científico. La estación facilita el conocimiento detallado de la dinámica del transporte de sedimento y nos permitirá aportar nuevos datos en las interrelaciones transporte-disponibilidad de sedimento.

En muchos casos el material transportado como carga de fondo se estima por métodos indirectos, o se omite, dado que en general representa solo el 10 % del sedimento fluvial exportado por una cuenca.

Sin embargo en ríos de montaña esta carga juega un papel preponderante en el balance de sedimentos. Así pues la instalación de trampas automáticas es un intento de dotar a la geomorfología fluvial de nuevas bases de datos que permitan la modelización del transporte de fondo.

AGRADECIMIENTOS

La estación automática se ha construido gracias al proyecto I+D: "Erosión y transporte de material sólido en ríos de montaña media mediterránea: monitorización y modelización", CICYT AMB93-0418. Los compañeros del GRAM (Jesús, Ramon y Xavi), el constructor Josep Rabionet y "el electrónico" Daniel Niñerola han sido piezas claves para el buen funcionamiento de la estación.

BIBLIOGRAFIA

- HAYWARD, J.A. (1979): Mountain stream sediments. In Murray, D.L. & Ackroyd, P. (Ed.): *Physical Hydrology*. 193-212. New Zealand Hydrological Soc., Wellington North.
- HELLEY, E. J. & SMITH, W. (1971): Development and calibration of a pressure-difference bedload sampler. *United States Geological Survey Open-File Report*.
- KUHNLE, R.A., WILLIS, J.C. & BOWIE, A.J. (1988): Measurement of bed load transport on Goodwin Creek, Northern Mississippi. *Proc. 18th Mississippi Water Res. Conf., Jackson, Mississippi*, 57-60.
- LARONNE, J.B., REID, I., YITSHAK, Y. & FROSTICK, L.E. (1992): Recording bedload discharge in a semiarid channel, Nahal Yatir, Israel. *IAHS Publ.* 210, 79-86.

- MILHOUS, R.T.(1973): *Sediment transport in a gravel-bottomed stream*. Ph.D. thesis, Oreg. State Univ., Corvallis.
- MÜHLHOFER, L. (1933): Untersuchung über die Schwebestoff-und Geschiebeführung des Inn nächst Kirchibal. *Die Wasserwirtschaft*, 1-6.
- REID, I., LAYMAN, J.T. & FROSTICK, L.E. (1980): The continous measurement of bedload discharge. *J. of Hydraulic Research* 18, 243-249.
- REID, I., FROSTICK, L.E. & LAYMAN, J.T. (1985): The incidence and nature of bedload transport during flood flows in coarse-grained alluvial channels. *Earth Surface Processes and Landforms* 10 (1), 33-44.
- SCHAANK, E.M.H. (1937): Discusión de Smetana, J.: Appareil pour le jaugeage du débit solide entraîné sur le fond du cors d'eau. *Proc. 1st Meet. Int. Ass. Hydraul. Struct. Res. Append.*, 4, 93-120.
- TACCONI, P. & BILLI, P. (1987): Bed load transport measurements by the vortex-tube trap on Virginio Creek, Italy. In Thorne, C.R., Bathurst, J.C. & Hey, R.D. (Ed.): *Sediment transport in Gravel bed rivers*. 583-606. John Wiley and Sons, Chichester.

Pies de Figura

Figura 1. Localización del área de estudio y mapa de la cuenca alta de La Tordera.

Figura 2. Dibujo a escala de las partes que configuran la estación automática.

Figura 3. Calibración de una de las trampas. 3a) Resultados obtenidos al añadir progresivamente pesas sobre la trampa. 3b) Resultados obtenidos al retirar las pesas.

Figura 4. Tasas de transporte de fondo (en masa sumergida) registradas durante la crecida del día 10 de Enero de 1996 para la trampa del centro del canal.







