

ACTA GEOLOGICAHISPANICA, v. 36 (2001), nº 1-2, p. 137-147

Caracterización granulométrica del lecho móvil de un río de gravas efímero: Aplicación a un tramo de la riera de Les Arenes

Grain-size characterisation of a mobile bed in an ephemeral gravel-bed stream: Application to a selected reach in Les Arenes stream

CELSO GARCÍA⁽¹⁾ y JUAN PEDRO. MARTÍN VIDE⁽²⁾

*(1) Dep. de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Crta de Valldemossa, km 7.5, 07071 Palma de Mallorca.
E-mail: celso.garcia@uib.es*

*(2) Dep. d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, E.T.S.E.C.C.P., Universitat Politècnica de Catalunya,
Gran Capità s/n, D1. 08034 Barcelona*

RESUMEN

Durante una campaña granulométrica en la riera de Les Arenes se extrajeron más de 676 kilogramos de material aluvial de su lecho de grava efímero. La toma de muestras granulométricas se realizó distinguiendo entre la superficie y el material subyacente o subsuperficie en un tramo del lecho fluvial. Se utilizaron técnicas diferentes para el muestreo de la superficie (pintando un área) y de la subsuperficie (muestreo volumétrico después de extraer la capa superficial). Para comparar las dos muestras se utilizó el factor de conversión de Kellerhals y Bray (1971). Los resultados obtenidos, después de la conversión y con un corte inferior de 8 mm en ambas distribuciones, permiten clasificar a la riera de Les Arenes como un río de gravas gruesas con un tamaño medio superficial (D_{50sup}) de 13 mm y uno en subsuperficie (D_{50sub}) de 17 mm. La campaña granulométrica ha permitido constatar la ausencia de una superficie o coraza más gruesa que el sedimento subyacente en el lecho de la riera. Como consecuencia de este hecho las crecidas anuales permiten el transporte de los tamaños medios del lecho, al contrario de lo que sucede en los ríos perennes con lecho de grava. En el artículo se dan las pautas a seguir para realizar una campaña granulométrica, con una toma de muestras correcta y se demuestra la utilidad de las tomas granulométricas, en un solo tramo, cuando el objetivo es el estudio de los procesos fluviales actuales.

Palabras clave: Granulometría de sedimentos. Río de gravas. Distribución de tamaños. Factor de conversión.

ABSTRACT

More than 676 kg were collected during a sediment survey campaign in the ephemeral gravel-bed stream of Les Arenes, NE Spain. Samples were taken in a selected reach distinguishing bed surface and the material beneath it or subsurface. Two different methods were used for sampling the surface (areal sample), and the subsurface (volumetric sample after clear the surface). Both samples were com-

pared using the formal conversion of Kellerhals and Bray (1971). The results obtained, after applied the formal conversion and a lower truncation of 8 mm, permits to classify Les Arenes as a gravel-bed stream with a median surface diameter ($D_{50\text{sup}}$) of 13 mm and a median subsurface diameter of 17 mm.

The sediment survey campaign has allowed to demonstrate the lack of a surface or armouring layer coarser than the material underneath it. As a consequence of this, annual floods can move easily the median size of the bed, as opposite to what happen in perennial streams with a gravel-bed. In this paper, some practices are recommended to get representative samples of satisfactory precision for sampling a gravel-bed stream. And it shows how useful could be a correct sampling, in a selected reach, when the objective is the study of present fluvial processes.

Keywords: Sampling. Gravel-bed river. Grain-size distribution. Conversion factor. Truncation.

EXTENDED ABSTRACT

This paper reports a sediment survey campaign carried out in Les Arenes River, NE Spain (Fig. 1). The drainage area is 32 km². The elongated shape of the basin together with a high slope (> 2 %) and an ephemeral hydrological system, classify Les Arenes as a torrential stream. High-intensity rainfall events produce flash floods that transport high quantities of solid material. Transmission losses during flood events have been evaluated around 40 % of discharge.

More than 676 kg of bed material was used for the analysis. During the bed sampling, surface and subsurface were sampled separately. After a visual inspection of the riverbed, identifying bed texture units, a bar upstream of a bedload measuring station was chosen as the best place to carry out the sampling (Figs. 2 and 3). The coarsest active particle present in the bed was used to determine the bed area for sampling the surface. An area of 10,9 m² was painted and all the marked particles removed. After the painted particles of the surface were removed, a 321 kg volumetric sample was taken from the subsurface. The largest stone found in the sample (190 mm) represented the 3 % of sample weight using the criteria of Church et al. (1987) for sampling subsurface material. The two methods used to characterise both surface and subsurface lead to non-equivalent results: therefore the samples should be converted in order to compare the results. The areal sample of surface layer was converted to a volumetric sample using the formal conversion of Kellerhals and Bray (1971). A factor $x = -1$ was used to convert an area-by-weight to a volume-by-weight sample (Table 3). Due to the method used to characterise the surface, some finer particles were under-rated, and then a lower truncation point (8 mm) was needed. Comparisons between the two distributions (surface and subsurface) were made after the conversion and using the same grain size range (both samples truncated at 8 mm). Results indicate the lack of a surface layer coarser than the subsurface in Les Arenes River. The median grain size (D_{50}) of the surface and the subsurface is 13 mm and 17 mm respectively (Fig. 5). The non-layering of the gravel bed in Les Arenes is due to the ephemeral flood regime, a rapid flow recession and a scour and fill process that mixed the material. Observations on bedload movement in Les Arenes, using a pit trap, indicate that all the floods move bed material (Table 4). This high degree of bed material mobility is a consequence, in part, of the non-layering or lack of armour development on the streambed of Les Arenes.

In this paper, some practices are recommended to get representative samples of satisfactory precision for sampling a gravel-bed stream:

1. Site selection. To overcome the complex problem of high spatial variability exhibited in fluvial gravel, the initial approach to sampling has been to define a distinct sedimentary environment which would be considered to be indicative of the local bed conditions (i.e. the head of a major bar).
2. It is proposed that two samples are collected at a site: a bulk sample and a surface sample. Scrape surface material away to depth of deepest-lying particle. After that, take a volumetric sample of the subsurface material. Subsurface sample size will be determined by the largest particle in the sample (representing between the 0.1 and 4 % of the total sample weight).
3. Different methods of selecting material for size analysis lead to non-equivalent results. For surface-subsurface comparison, and depending on the method, it has to be used the formal conversion of Kellerhals and Bray (1971).

INTRODUCCIÓN

La toma de muestras granulométricas en ríos aluviales es el punto de partida en cualquier estudio sobre dinámica fluvial. Los resultados obtenidos a partir de la granulometría son posteriormente utilizados en el cálculo del transporte de sedimento en un río, en la resistencia al flujo, en el inicio del movimiento de los diferentes tamaños, en el acorazamiento del lecho, o para la reconstrucción paleohidrológica, como ejemplos más importantes. La metodología establecida para la toma de estas muestras granulométricas no está bien definida por los organismos oficiales como la "British Standard Institution" (BS, 1975), la "American Society for Testing Materials" (ASTM, 1978) y la "International Standard Organization" (ISO, 1977). En ellos no se suministra información sobre el lugar de muestreo, el tamaño de la muestra o el número de muestras necesarias para una correcta caracterización. Además, la mayoría de las recomendaciones se centran en ríos con lechos de arena, en principio mucho más fáciles de caracterizar granulométricamente por la homogeneidad de tamaños.

En un río con lecho de gravas, que contiene un tamaño medio superior a los 2 milímetros, las dificultades son mayores: presenta un amplio rango de fracciones granulométricas, una alta variabilidad espacial y temporal en la distribución de las formas del lecho, y unas variaciones verticales de sedimento acumulado a través del lecho que se corresponden con el desarrollo de una capa superficial diferente del material subyacente o subsuperficial (Andrews y Parker, 1987; Church et al., 1987). Obviar estos factores conduce a la obtención de resultados erróneos y en algunos casos a comparar muestras recogidas con métodos diferentes (Kellerhals y Bray, 1971).

Este artículo tiene como objetivo principal mostrar una metodología para el muestreo granulométrico en un lecho de gravas a partir de la toma de muestras en un tramo concreto de la riera de Les Arenes (Fig. 1). Se presentan los resultados obtenidos durante una campaña granulométrica, se describen la toma de muestras y los análisis efectuados, se detallan las recomendaciones para futuros trabajos granulométricos, y se analizan las posibles aplicaciones de un análisis granulométrico exhaustivo en el análisis del transporte de sedimentos de un río de régimen efímero y con lecho móvil de grava.

El trabajo no pretende la caracterización granulométrica de toda la riera de Les Arenes ni analizar con detenimiento sus depósitos aluviales (que precisaría la reali-

zación de catas para discriminar los diferentes episodios sedimentarios), sino por el contrario utilizar un solo punto en un tramo de la riera y, a partir de las muestras granulométricas, tomadas usando una metodología adecuada, demostrar que es posible caracterizar correctamente un tramo de un río con lecho de gravas y obtener los principales parámetros granulométricos, sin necesidad de tomar un elevado número de muestras a lo largo del tramo de estudio.

LUGAR DE ESTUDIO

La riera de Les Arenes es un río de gravas efímero cuya cuenca de drenaje se localiza en la vertiente sur de la Cadena Prelitoral Catalana (Fig. 1). En su cabecera divide dos unidades montañosas: Sant Llorenç del Munt y la Serra de l'Obac, con alturas entorno a los 1.000 metros en las cimas. La parte final de su curso transcurre desde el pie de la Cadena Prelitoral y a través de la Depresión del Vallès, hasta su confluencia con la riera de Palau para formar la riera de Rubí. Esta parte final del curso transcurre prácticamente encauzada entre dos muros que definen una anchura del cauce de 50 m. La pendiente de este tramo final del río (5,7 km) varía entre el 3,2 y el 2 %. El área de su cuenca de drenaje es de 32 km².

La parte alta de la cuenca está compuesta por potentes masas de conglomerados eocénicos con pequeñas intercalaciones de areniscas y margas rojas. Estos materiales son de origen continental y pertenecen, genéticamente, a la Cuenca de antepaís del Ebro. En el lado que limita con la Depresión Prelitoral los conglomerados se hallan cabalgados por pizarras y esquistos del Silúrico. Esta alternancia de materiales duros y blandos da lugar a la formación de relieves en cuesta debido a una erosión diferencial que proporciona gran cantidad de material detrítico.

El tramo inferior de la riera, desde Matadepera hasta su desembocadura, está cubierto por los acarreos aluviales de la propia riera (gravas rodadas, arenas y limos arcillosos), depositados sobre un substrato miocénico de margas amarillentas y niveles conglomeráticos con cantos de pizarra y cuarzo. El espesor de los depósitos aluviales es muy variable siendo su máximo de 5 metros en las proximidades de Terrasa (MOPU, 1975).

La cuenca de la riera de Les Arenes, debido a su pequeño tamaño, su forma y la pendiente del curso principal, tiene un régimen hidrológico de tipo torrencial. Además tiene carácter efímero, ya que sólo circula agua

superficial por su lecho durante episodios de lluvia intensos o muy intensos, que producen crecidas súbitas durante las que se transporta gran cantidad de material sólido. A lo largo del perfil de la riera las pérdidas de caudal durante las crecidas son importantes, situándose

en torno al 40 % del caudal superficial circulante (Navarro Delgado, 1998).

Durante el día 13 de diciembre de 1994 se realizó una campaña granulométrica cuyo objetivo principal fue ca-

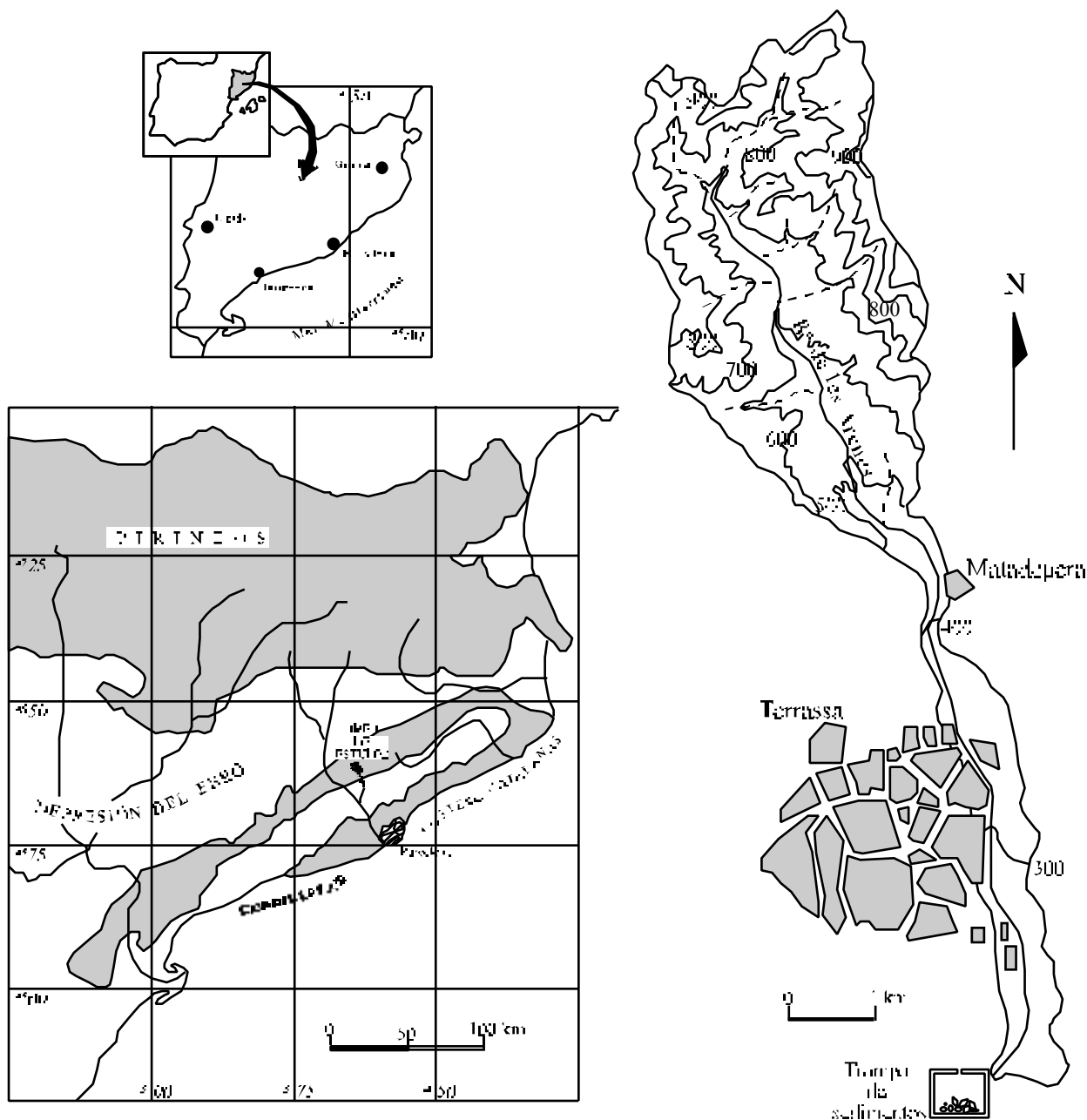


Figura 1. Mapa de localización de la riera de Les Arenes. La cuenca de drenaje puede dividirse en dos subcuencas: una de carácter natural, hasta Matadepera, y una antrópica, a partir de Matadepera hasta su desembocadura, por donde la riera transcurre encauzada.

Figure 1. Location map showing Les Arenes stream, NE Spain. The drainage basin can be divided into two sub-basins: a natural basin upstream from Matadepera, and an anthropic basin downstream from Matadepera, where the stream flows channelled.

racterizar la riera en el punto de desagüe de la cuenca y donde se mide también el transporte de fondo (Martín Vide et al., 1996). El lecho de la riera no había sufrido modificaciones significativas de su depósito desde el paso de la última crecida (10 de octubre de 1994), y no había habido influencia antrópica alguna. Durante la campaña se recogieron dos muestras en el mismo punto, una superficial y la otra subsuperficial, que en total representaron 676 kilogramos de material extraído. La litología de las muestras estaba dominada por clastos de conglomerado y cuarzo (78%), pizarra (15 %), caliza (5%) y arenisca (2%).

El lecho del río fue inspeccionado antes de proceder a la extracción de las muestras para reconocer las diferentes formas y agrupaciones superficiales. Durante la selección del lugar de muestreo se evitaron las áreas del lecho que presentaban una segregación de material fino o grueso, con el objetivo de obtener una muestra homogénea no sesgada. Al mismo tiempo las partículas más grandes, factibles de ser encontradas en el cauce, debían de estar representadas en la muestra.

El lugar escogido fue una barra que presentaba un amplio rango de tamaños representativos del material del lecho (Figs. 2 y 3). En el lugar seleccionado se realizó la toma de muestras diferenciando la superficie del lecho del material bajo ella (“subsuperficie”).

MUESTREO SUPERFICIAL

El muestreo superficial consiste en la extracción de la primera capa del lecho, es decir, todas las partículas expuestas en superficie al flujo de agua. En la mayoría de los casos el grosor de esta capa viene definido por la profundidad a la cual llega la partícula más grande expuesta. El espesor que se debe extraer también depende del método utilizado (García, 1994).

En la barra seleccionada se delimitó el área de extracción para la muestra superficial mediante la fórmula de Dipsas y Fripp (1992):

$$\text{Área} = 100D_{\max}^2$$

Siendo D_{\max} el eje b (la anchura de una partícula o eje perpendicular al eje longitudinal más largo) de la partícula más grande, en metros, que resultó ser 0,33 m. El resultado fue un área de 10,9 m². Este área fue delimitada en la barra del lecho, pintando con un pulverizador toda su superficie y recogiendo manualmente todas las partículas marcadas por la pintura (Fig. 3). La muestra extraí-

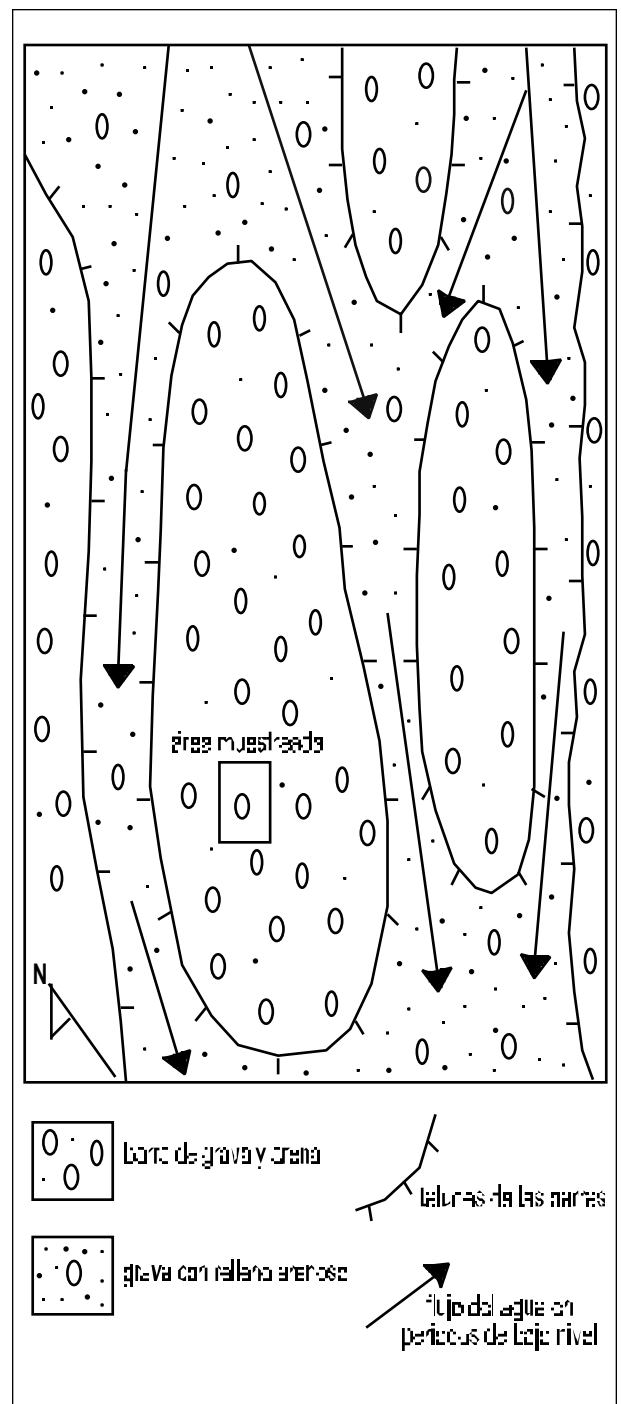


Figura 2. Esquema en planta con la interpretación de las facies correspondientes al tramo de estudio en la riera de Les Arenes. En la barra central del cauce se señala el área donde se realizó el muestreo superficial y subsuperficial.

Figure 2. Schematic map showing the different bedforms at the selected reach in Les Arenes stream. Sampling area is marked at the central bar.



Figura 3. Tramo de estudio en el lecho de la riera de Les Arenes. La fotografía muestra el momento en el cual se delimita la superficie del área donde se realizará la toma de muestras. La vista es aguas abajo y el salto del fondo del cauce corresponde a la sección de la estación de aforos donde se mide el caudal. En la parte superior izquierda puede verse la caseta que contiene el limnígrafo y al lado la trampa totalizadora para el cálculo de los arrastres.

Figure 3. Painting the selected sampling area. The view is downstream and the concrete structure at the middle term is the gauge station. On the left site is located a bedload trap.

da pesaba 381,6 kg. Catorce clastos de gran tamaño no se incluyeron en la muestra para analizar en el laboratorio, pero se pesaron y se midieron sus ejes b. La suma de todas ellas totalizaba 98,2 kg. y fueron incluidas en una muestra ampliada que a partir de ahora denominaremos superficial ampliada. La muestra no ampliada de 381,6 kg estaba compuesta por 14 submuestras que iban desde los 25 kg, la de menor peso, a los 40 kg. la más pesada.

Cada submuestra fue secada y tamizada con la siguiente serie de tamices UNE: 0,08, 0,125, 0,25, 0,5 1, 2, 4, 8, 16, 25, 32, 50, 63, 100, 125 y 181 mm. Estos tamices eran los disponibles durante la realización de las granulometrías, pero es aconsejable utilizar tamices que se correspondan con la clasificación de los tamaños del sedimento de Wentworth (1922). Posteriormente se han calculado los parámetros estadísticos siguientes: la media aritmética y la desviación típica (el primer y el segundo momento respectivamente, usando el centro aritmético de cada clase de tamaños), el coeficiente de variación y el sesgo (Tabla 1).

La media aritmética de la muestra superficial total no ampliada es de 47,6 mm con una desviación típica de 41,2

mm. Al añadirle los 98,2 kg correspondientes a las partículas más grandes pesadas en el campo, se obtiene una muestra superficial ampliada con una media aritmética de 86,2 mm y una desviación tipo de 93,4 mm.

En los análisis granulométricos se utiliza la curva acumulativa de frecuencias. El objetivo de esta clasificación es facilitar la representación gráfica de los tamaños del sedimento. La distribución siguiendo este último método puede verse en la figura 4. A partir de esta curva se obtienen los parámetros que se utilizan en los diversos cálculos: D_{50} (o el tamaño medio del sedimento superficial), D_{84} (el tamaño tal que el 84% del sedimento es más fino), D_{90} , etc. Por interpolación numérica o gráfica se pueden calcular los percentiles deseados, por ejemplo para la muestra ampliada total el tamaño D_{50} es de 39 mm y el D_{84} de 115 mm.

MUESTREO SUBSUPERFICIAL

Después de retirar la capa superficial del lecho (todas las partículas pintadas) se procedió a coger una muestra volumétrica del material subsuperficial mediante la ayu-

Tabla 1. Muestra superficial. Parámetros estadísticos. (DESVTIP: desviación típica, CV: coeficiente de variación).

Table 1. Statistical data of the 14 sub-samples that comprise the total surface sample. (DESVTIP: standard deviation, CV: coefficient of variation of the sample).

SUBMUESTRA	MEDIA (mm)	DESVTIP (mm)	CV	SESGO
1	46,06	43,41	0,94	0,93
2	30,41	31,42	1,03	1,25
3	68,02	47,79	0,70	0,34
4	58,00	43,96	0,76	0,1
5	34,03	31,52	0,93	1,02
6	29,33	25,82	0,88	1,12
7	41,68	38,72	0,93	0,78
8	70,20	35,10	0,50	-0,27
9	41,40	36,85	0,89	0,66
10	44,96	37,54	0,83	0,66
11	61,07	38,91	0,64	-0,02
12	37,52	29,50	0,79	0,77
13	76,94	54,95	0,71	0,09
14	30,54	27,15	0,89	1,05
MUESTRA TOTAL	47,61	41,15	0,86	0,75

da de una pala excavadora. La muestra se tomó en los primeros 50 cm de la subsuperficie del lecho fluvial, siempre dentro del episodio sedimentario de la última crecida del 10 de octubre de 1994. El material subsuperficial estaba compuesto por clastos de gravas con una matriz arenosa que ocupaba entorno al 15% del depósito.

El primer problema fue definir la cantidad de material que se debía extraer para que la muestra fuese representativa estadísticamente. Para ello se utilizaron las recomendaciones de Church et al. (1987), de uso frecuente dentro del campo de la Geomorfología Fluvial. Estos autores consideran que la partícula más grande presente en la muestra debe determinar el volumen de la misma, ya que estará representada de manera única respecto al resto de tamaños. A partir de esta premisa y realizando varios ensayos granulométricos, los autores citados propusieron un gráfico donde se relaciona el tamaño de la muestra con el eje b de la partícula más grande. En el gráfico se recomienda que la partícula más grande represente entre el 0,1 y el 5% del total de la muestra.

La muestra subsuperficial recogida sobrepasaba los 321 kg de material con un clasto máximo de pizarra de 190 mm de eje b, que representaba el 3% del total de la

muestra, lo cual cumple el criterio de Church et al. (1987). Este volumen, según las recomendaciones de ISO, dado el D_{84} de la muestra (32 mm) y los 321 kg de material extraído, se situaría en el nivel de baja precisión, lo que confirma la severidad de las recomendaciones de ISO para ríos de gravas, haciendo hincapié en que estas recomendaciones se basan en el muestreo de arenas y gravas finas. En cambio el volumen de muestra recogida es aceptable siguiendo las recomendaciones de ASTM y de BS.

Mediante el análisis estadístico (Tabla 2) también se observa que la distribución de las muestras no sigue una ley normal. La media aritmética del material subsuperficial es de 39,30 mm, incluyendo el material medido y pesado en el campo, con una desviación típica de 55,26 mm. Por otro lado el D_{50} es igual a 9,4 mm.

COMPARACIÓN ENTRE MUESTRAS

Para poder comprobar estos hechos se han de comparar las muestras superficial y subsuperficial recogidas mediante diferentes técnicas. Kellerhals y Bray (1971) fueron los primeros investigadores en mostrar que diferentes métodos de muestreo granulométrico daban lugar a resultados no equivalentes, y que se debía aplicar un fac-

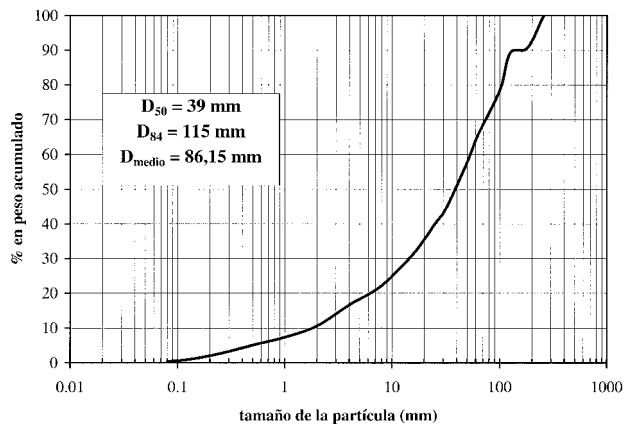


Figura 4. Distribución granulométrica de la muestra superficial ampliada. Se muestra el porcentaje acumulado para todas las fracciones granulométricas respecto al peso total de la muestra. De la distribución granulométrica, D_{50} es el tamaño medio (mediana) y D_{medio} la media aritmética.

Figure 4. Grain-size cumulative distribution of the surface sample. The grain-size distribution has no lower truncation and the formal conversion factor it has been not applied. D_{50} is the median size and D_m is the arithmetic mean of the distribution.

Tabla 2. Muestra superficial. Parámetros estadísticos. (DESVTIP: desviación típica, CV: coeficiente de variación).

Table 2. Statistical data of the 9 sub-samples that comprise the total surface sample. (DESVTIP: standard deviation, CV: coefficient of variation of the sample).

SUBMUESTRA	MEDIA (mm)	DESVTIP (mm)	CV	SESGO
2	21,62	22,60	1,05	1,14
3	18,12	20,64	1,14	1,56
6	23,15	18,82	0,81	0,40
7	24,40	22,35	0,92	0,72
8	39,53	42,29	1,07	0,80
9	21,63	21,39	0,99	1,03
10	28,70	23,91	0,83	0,32
11	30,56	23,31	0,76	0,11
12	19,69	20,02	1,02	1,22
TOTAL NO AMPLIADA	24,31	28,61	1,18	1,60
TOTAL AMPLIADA	39,30	55,26	1,41	2,13

tor de conversión a las muestras para poder compararlas. En nuestro caso no es posible comparar directamente la superficie del lecho, obtenida a partir del muestreo en un área (2 dimensiones) con la subsuperficie, obtenida del muestreo volumétrico (3 dimensiones). Para poder compararlas es necesario aplicar un factor de conversión que haga equivalentes dos muestras recogidas y analizadas mediante técnicas diferentes. El factor de conversión propuesto por Kellerhals y Bray (1971) se basa en las dimensiones de la muestra predeterminadas por la técnica de muestreo y se calcula como:

$$f'_i = \frac{f_i D_i^x}{\sum_{i=1}^n f_i D_i^x}$$

Donde f_i es la proporción de la muestra contenida en la clase i con el tamaño medio geométrico D_i , x es el entero requerido para la conversión (determinado por el método de muestreo), n es el número de clases, y la suma efectúa una renormalización de la distribución que da las proporciones convertidas f'_i . Esta expresión traduce el hecho intuitivo de que cuanto mayor es una partícula (D) más presencia tiene proporcionalmente en peso en la muestra superficial (frecuencia f_i) con respecto a su frecuencia verdadera en el volumen.

El exponente x varía en función del método de muestreo utilizándose los siguientes para las conversiones:

- (i) de retícula por número a volumen por peso, $x = 0$;

- (ii) de área por número a volumen por peso, $x = 2$;

- (iii) de área por peso a volumen por peso, $x = -1$.

El estudio de Kellerhals y Bray (1971) da un factor x de -1 para la conversión de la muestra superficial recogida en un área a una muestra superficial volumétrica. Este factor de conversión de -1 ha sido cuestionado por la comunidad científica ya que fue calculado a partir del modelo de un cubo con partículas cuadradas y simétricas. En condiciones naturales el exponente debería ser modificado ya que las partículas presentan diversas formas y estructuras, aunque exhaustivos análisis de Church et al. (1987) y de Fripp y Diplas (1993) reafirman el valor de -1 . Aceptado el valor de -1 , el segundo problema aparece con el método de muestreo utilizado. Al pintar la superficie y recoger todas las partículas marcadas subestimamos las partículas más finas porque es imposible individualizarlas, en muchos casos por estar protegidas por los clastos más gruesos. Se produce un corte u omisión del material fino. El principal problema para tener en cuenta este hecho es escoger en qué clase debe realizarse este corte. En esta investigación, y basándose en la técnica utilizada, el corte se realizó en los 8 mm, medida con la que puede identificarse una partícula con la yema del dedo índice.

En la tabla 3 pueden verse los pasos seguidos para la conversión de la muestra superficial en un área en una muestra superficial volumétrica. El corte inferior se ha realizado en los 8 mm y el tamiz utilizado sigue la escala Wentworth. La fracción granulométrica menor de 8 mm

Tabla 3. Conversión de Kellerhals y Bray sobre la muestra superficial ampliada para convertirla en una muestra superficial volumétrica y poder compararla con la muestra subsuperficial. A la muestra se le ha realizado un corte inferior en los 8 mm.

Table 3. Application of the formal conversion factor ($x=-1$) of Kellerhals and Bray to the grain-size distribution of the surface (areal sample) to become a volumetric sample. There is a lower truncation at 8 mm.

Tamiz	Peso (gr)	$f_i \cdot 100$	D_i	D_i^{-1}	$f_i \cdot D_i^{-1}$	$f'_i \cdot 100$
256	44800	11,20	362,0	0,003	0,031	1,297
128	58830	14,71	181,0	0,006	0,081	3,405
64	98755	24,69	90,5	0,011	0,273	11,432
32	86020	21,51	45,3	0,022	0,475	19,894
16	85102	21,28	22,6	0,044	0,942	39,451
8	26447	6,61	11,3	0,088	0,585	24,520
	359701	100				

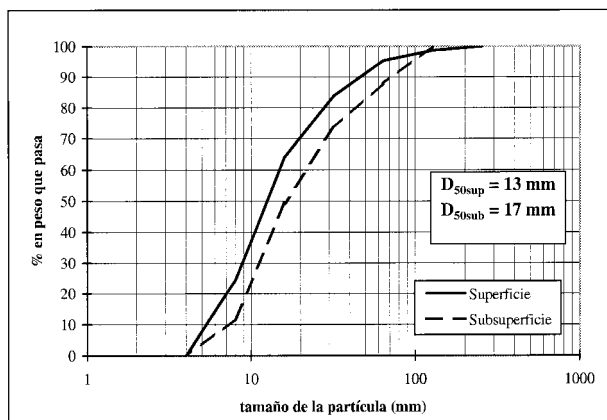


Figura 5. Comparación entre las distribuciones granulométricas de la superficie y la subsuperficie de la riera de Les Arenes. Ambas distribuciones presentan un corte inferior en los 8 mm, y se le ha aplicado el factor de conversión ($x=-1$) de Kellerhals y Bray a la muestra superficial para poder compararla con la muestra volumétrica subsuperficial.

Figure 5. Comparison between the surface and the subsurface grain-size distributions. Both grain-size distributions has a lower truncation of 8 mm and the formal conversion factor ($x=-1$) of Kellerhals and Bray has been applied to the surface sample.

representa el 16% del peso total de la muestra superficial. En la muestra subsuperficial también se ha realizado el corte en los 8 mm y ha sido separada en los mismos tamices para poder ser comparada con la superficial. La fracción granulométrica menor de 8 mm representa el 35% del peso total de la muestra subsuperficial.

El resultado se muestra en la figura 5 donde se representan las curvas acumulativas de frecuencias para la muestra superficial y la subsuperficial. Al utilizar los tamaños medios de la curva granulométrica (D_{50} = mediana, D_m = media aritmética) es evidente que las dos muestras presentan una distribución de tamaños parecida ($D_{50sup} = 13$ mm, $D_{50sub} = 17$ mm, $D_{msup} = 44,5$ mm. y un $D_{msub} = 59$ mm) tanto para la muestra subsuperficial como para la superficial. A efectos granulométricos los percentiles a utilizar para los cálculos de resistencia al flujo, inicio del movimiento, etc. se obtienen de las curvas acumulativas de frecuencias mostradas en la figura 5.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La existencia de una capa superficial más gruesa que el depósito subyacente o subsuperficial es un he-

cho reconocido en ríos de gravas perennes (Andrews y Parker, 1987; Sutherland, 1987; García, 1997). Esta capa conocida como coraza o *armour*, del grosor de una partícula, es de gran importancia ya que determina el umbral del movimiento del material del lecho y por lo tanto el calibre de las partículas transportadas. La rotura de esta coraza permite el arrastre de las partículas más finas del substrato, hecho que se utiliza para explicar por qué el tamaño del sedimento acarreado se asemeja más al subsuperficial y no al material de la superficie, mucho más grueso (Jackson y Beschta, 1982; Parker et al., 1982; Reid et al., 1985). En los últimos años algunas investigaciones llevadas a cabo en ríos de grava efímeros han comprobado la falta de una capa superficial más gruesa que el material que se encuentra debajo (Kuhnle, 1992; Laronne et al., 1994). La ausencia de la coraza comporta una mayor disponibilidad de sedimento para transportar, un umbral más bajo para el inicio del movimiento y consecuentemente unas mayores tasas de transporte de fondo (Laronne et al., 1994).

Los resultados obtenidos en la riera de Les Arenes permiten clasificarla como un río de gravas gruesas, con un D_{50sup} de 14 mm y un D_{50sub} de 17 mm. El análisis comparativo entre las curvas acumulativas de frecuencias de la superficie y la subsuperficie, después de la conversión, muestran la ausencia de una capa superficial más gruesa que la capa subsuperficial. Como puede apreciarse en la figura 5, la curva acumulativa de frecuencias de la subsuperficie es más gruesa que la superficie, exceptuando la parte final de la curva superficial que indica la presencia de clastos muy gruesos, entre 120 y 250 mm. Estos clastos individualizados no forman una coraza debido a su tamaño y al pequeño porcentaje que representan en el total de la muestra. Su importancia radica en la rugosidad del lecho y sus efectos en el flujo que circula durante una avenida. Las corazas en ríos perennes ocupan la mayor parte del lecho fluvial pavimentando su superficie. Factor que no se produce en la riera de Les Arenes.

La ausencia de una coraza superficial parece repetirse en todos los ríos de gravas efímeros. Este fenómeno puede explicarse por la ocurrencia de varios factores. Como se ha podido observar en Les Arenes (Roselló, 1992) durante las crecidas el lecho del río sufre importantes episodios de erosión y transporte. Además, la recesión del hidrograma es muy rápida, de pocas horas (Martín Vide et al., 1996), y no permite una recolocación del material según su tamaño, a diferencia de los ríos perennes donde la recesión es más lenta y el

Tabla 4. Tamaño medio de los arrastres, capturados en la trampa totalizadora de la riera de Les Arenes, y su comparación con el caudal máximo para 6 crecidas.

Table 4. Median grain-size (D_{50}) of bedload, trapped at a pit sampler, and peak discharge for 6 flood events at Les Arenes stream.

FECHA	9-9-92	29-4-93	30-6-93	12-8-93	22-9-93	10-10-94
Q ($m^3 s$)	15	18	12,8	25,6	10,5	96
Dm (mm)	14,2	10,2	8,7	16	8,4	47,9

paso continuado del caudal base produce un agotamiento del material fino y la formación de una superficie más gruesa (Gómez, 1983).

La ausencia de esta coraza superficial implica una mayor disponibilidad de clastos factibles de ser transportados, con un umbral de resistencia al inicio del movimiento más bajo que comportará unas tasas de transporte de fondo más altas que en los ríos de gravas perennes (Reid y Laronne, 1995).

En la riera de Les Arenes, y a partir del estudio del transporte de fondo mediante una trampa totalizadora (Martín Vide et al., 1996), se pudo comprobar cómo para diferentes crecidas los tamaños medios aritméticos presentan unos valores semejantes (Tabla 4), exceptuando la crecida de gran magnitud del 14 de octubre de 1994 con una capacidad de arrastre de material grueso muy superior a la del resto de crecidas. Ésto nos indica la alta disponibilidad de sedimentos (menor resistencia al movimiento), favorecida por la carencia de una capa superficial que regularía los tamaños a transportar por cada crecida, y que todos los sucesos distorsionan el lecho del río y producen acarreo.

La ausencia de una coraza superficial en ríos efímeros es de vital importancia en el estudio de sus episodios sedimentarios. Al realizar catas en el material aluvial del cauce no se encuentran capas de material grueso equivalentes a una antigua coraza superficial del lecho, como se puede observar en ríos perennes actuales.

Este trabajo permite establecer una metodología de muestreo en un solo tramo, si el objetivo es el estudio de los procesos fluviales actuales, con las siguientes recomendaciones:

1. La selección del lugar de muestreo es de vital importancia y debe incluir todo el espectro de tamaños factibles de ser encontrados en la superficie del lecho.

Siempre vendrá definido por el objetivo del estudio. Hay que evitar las áreas del lecho que presenten una agrupación de partículas homogéneas, que puedan causar un sesgo en la muestra, y aquellas que no han sido removidas por crecidas recientes.

2. Antes de tomar una muestra volumétrica se extraerá la superficie del lecho mediante una de las técnicas del muestreo superficial (García, 1994). Una vez tomada la muestra superficial se procederá con la muestra subsuperficial en el mismo lugar. Para la cantidad de material a extraer pueden utilizarse las recomendaciones de Church et al. (1987), recordando que la partícula más grande tiene que estar entre el 0,1 y el 4% del total de la muestra. Si lo que se quiere es una estimación rápida de un percentil determinado sin coger más kilogramos de los necesarios se aconseja consultar la Tabla I y la Figura 7 del trabajo de Ferguson y Paola (1997).
3. El tamizado de las muestras se realizará por separado y la muestra superficial será convertida a volumétrica mediante el factor de conversión de Kellerhals y Bray (1971). El exponente dependerá del método empleado en el muestreo. En la muestra superficial se debe realizar un corte inferior en el tamaño del material que también vendrá definido por el método utilizado.

AGRADECIMIENTOS

La campaña granulométrica se realizó dentro del proyecto de la CICYT AMB93-0418. En el trabajo de campo colaboraron Ramon Batalla, Albert Rovira y Allen Bateman. Xavier Úbeda colaboró en la edición de las figuras. Las revisiones de Carles de las Cuevas, Alberto Sáez y dos revisores anónimos fueron de gran utilidad en la mejora sustancial del artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Testing and Materials, 1978. Standard methods of sampling aggregates, ANSI/ASTM D75-71.
- Andrews, E.D., Parker, G., 1987. Formation of a coarse surface layer as the response to gravel mobility. In C.R. Thorne, J.C. Bathurst, R.D. Hey (eds.). *Sediment Transport in Gravel Bed Rivers*, John Wiley and Sons, Chichester, 269-325.
- British Standards Institution (BS), 1975. British standard methods for sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers. Part I. Sampling, size, shape and classification, BS812 Part 1:1975.

- Church, M., McLean, D.G., Wolcott, J.F., 1987. River bed gravels: sampling and analysis. In C.R. Thorne, J.C. Bathurst, R.D. Hey (eds.). *Sediment Transport in Gravel Bed Rivers*, John Wiley and Sons, Chichester, 43-88.
- Diplas, P., Fripp, J.B., 1992. Properties of various sediment sampling procedures. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 118(7), 955-970.
- Ferguson, R.I., Paola, C., 1997. Bias and precision of percentiles of bulk grain size distributions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 1061-1077.
- Fripp, J.B., Diplas, P., 1993. Surface sampling in gravel streams. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 119(4), 473-490.
- García, C., 1994. Métodos para la caracterización granulométrica en ríos de gravas. *Notes de Geografía Física*, 23, 5-16.
- García, C., 1997. Transporte de fondo en un río de gravas y su relación con la dinámica del lecho fluvial. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. 200 pp.
- Gómez, B., 1983. Temporal variations in bedload transport rates: the effect of progressive bed armouring. *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, 41-54.
- International Standards Organization, 1977. Liquid flow measurements in open channels-bed material sampling. ISO 4364-1977(E).
- Jackson, W.L., Beschta, R.L., 1982. A model of two-phase bedload transport in an Oregon Coast Range stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 517-527.
- Kellerhals, R., Bray, D.I., 1971. Sampling procedures for coarse fluvial sediments. *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, J. Hydraulics Div.*, 97, 1165-1179.
- Kuhnle, R.A., 1992. Bedload transport during rising and falling stages on two small streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 191-197.
- Laronne, J.B., Reid, I., Yitshack, Y., Frostick, L.E., 1994. The non-layering of gravel streambeds under ephemeral flood regimes. *Journal of Hydrology*, 159, 353-363.
- Martín Vide, J.P., 1997. *Ingeniería fluvial*. Edicions UPC, 205 pp.
- Martín Vide, J.P., Niñerola Chifoni, D., Bateman, A., Gómez Navarro, L., 1996. Escorrentía y transporte sólido en la cuenca torrencial de la riera de Las Arenas. Metodología de investigación y primeros resultados. *Ingeniería del Agua*, 3(3), 29-44.
- Ministerio de Obras Públicas (MOPU), 1975. Proyecto de estabilización, defensa y encauzamiento de las rieras de Rubí, Palau, Las Arenas, desvío de Tarrasa y cauces afluentes a las mismas. Anejo nº 4. Estudio Geológico, Hidrogeológico y Geotécnico.
- Navarro Delgado, A., 1998. Riesgo hidrológico de las ciudades de Rubí y Terrasa. Tesina de Especialidad. E.T.S.E.C.C.P. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Parker, G., Klingeman, P.C., McLean, D.G., 1982. Bedload and size distribution in paved gravel-bed streams. *ASCE, J. Hydraulics Div.*, 108, 544-571.
- 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, 33-44.
- Reid, I., Laronne, J.B., 1995. Bedload sediment transport in an ephemeral stream and a comparison with seasonal and perennial counterparts. *Water Resources Research*, 31(3), 773-781.
- Roselló, R., 1992. Estudi hidrològic de la riera de Les Arenes. Tesina de Especialidad. E.T.S.E.C.C.P. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sutherland, A.J., 1987. Static armour layers by selective erosion. In C.R. Thorne, J.C. Bathurst, R.D. Hey (eds.). *Sediment Transport in Gravel Bed Rivers*. John Wiley and Sons, Chichester, 243-267.
- Wentworth, C., 1922. A method of measuring and plotting shapes of pebbles. *Bulletin of the U.S. Geological Survey*, 730, 91-96.

ANEXO

D_{50}	tamaño medio del sedimento (mediana de la distribución granulométrica)	D_{50sup}	tamaño medio de la superficie del lecho
D_m	tamaño que representa la media aritmética de la distribución granulométrica	D_{50sub}	tamaño medio de la subsuperficie del lecho
D_{84}	tamaño de la curva acumulada de frecuencias donde el 84 % del sedimento es más fino	D_{msup}	tamaño que representa la media aritmética de la superficie
D_{max}	tamaño máximo o partícula de mayor calibre en una distribución granulométrica	D_{msub}	tamaño que representa la media aritmética de la subsuperficie.