

Características hidráulicas y geomorfológicas de ríos de montaña (I)

Con este artículo se inicia una serie de tres que pretenden ser una breve síntesis del estado del conocimiento acerca de la hidráulica y la geomorfología fluvial que se desarrollan en ríos de montaña constituidos por material granular no cohesivo.

Raúl López Alonso, Ing. Téc. de Obras Públicas, Ldo. en Geografía y DEA en Ingeniería Hidráulica. Dpto. de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Lleida

1. INTRODUCCIÓN

El ecosistema montano ofrece una gran diversidad de recursos socioambientales: agua, energía, variedad de ecosistemas en ladera, diversidad genética, recursos forestales y minerales, productos agropecuarios, ocio y turismo, recursos paisajísticos, históricos y culturales, entre otros. De los diferentes flujos de recursos establecidos entre las áreas de montaña y las llanuras adyacentes el hídrico es posiblemente uno de los que hace más patente la dependencia socioambiental respecto de los ecosistemas montanos. En efecto, se ha estimado que más de la mitad de la humanidad depende de los recursos hídricos generados en las cuencas de montaña para satisfacer sus necesidades de agua potable, riego, uso industrial, hidroeléctrico y navegación.

El conocimiento científico acerca de los ríos de arena ha venido siendo superior que sobre los ríos de lecho de grava, porque los primeros son los característicos de los ríos de llanura, áreas en las que

históricamente la población se ha concentrado y también se han localizado las metrópolis, centros de poder político y económico. Consiguientemente, la ingeniería fluvial hasta hace unas pocas décadas no ha tomado como objeto de estudio preferente aquellos problemas asociados a ríos de grava y de montaña, ya que éstos se ubicaban en las partes más altas, menos pobladas y periféricas respecto a los centros de decisión política y económica, lo que unido a la mayor complejidad de los procesos hidrogeomórficos que en ellos se desarrollan ha provocado que tradicionalmente sean peor conocidos.

No obstante, desde principio de la década de los años ochenta del siglo pasado, en parte debido a las expectativas de desarrollo de las zonas de montaña y del incipiente conocimiento de que las características y comportamiento del sistema fluvial podían verse intensamente afectadas por los procesos que tienen lugar en la parte superior, se comenzó a prestar mayor atención al estudio de los ríos

montanos y de grava. La labor investigadora realizada hasta el momento ha puesto de manifiesto que los modelos hidráulicos, de transporte de sedimentos y geomorfológicos desarrollados sobre la base de la evidencia empírica en ríos de arena de suave pendiente no eran aplicables a ríos de montaña de sedimento grueso.

El objetivo de la serie de tres artículos que se inicia con el presente es exponer una breve síntesis de las principales características de los procesos hidráulicos, de transporte de sedimentos y morfogenéticos que tienen lugar en los ríos de montaña y de grava, incidiendo en las diferencias respecto a los ríos de sedimento fino de llanura.

1.1. DEFINICIONES

Un río de montaña puede definirse a partir de dos criterios principales. En el primero se entendería por río de montaña todo aquel curso de agua natural, perenne o intermitente, que se halle en una región considerada como de montaña. No obstante, dada la comple-

alidad de las áreas de montaña no es posible definir las de forma precisa y universal. Habitualmente se emplean criterios basados en una combinación de altitud y pendiente del terreno, e incluso de latitud y clima. Basándose únicamente en un umbral de elevación del terreno sobre el nivel del mar, por ejemplo 1000 m, se obtiene que un 27% de la superficie terrestre y casi un 19% del territorio español se encuentran sobre dicha cota.

El segundo criterio toma ciertas características hidrogeomorfológicas de los ríos a fin de establecer clasificaciones de diferente complejidad en función del número de variables consideradas. No obstante, si se considera únicamente la pendiente longitudinal del cauce como factor principal y de acuerdo con Jarrett (1990), un río de montaña sería aquél cuyo curso tiene una pendiente longitudinal superior al 0,2%.

Se considera un río de arena cuando el sedimento granular del lecho presenta un tamaño medio superior a 0,063 mm e inferior a 2 mm. Si el rango del tamaño medio de las partículas varía entre 2 y 64 mm el río se considera de grava; de canto si dicho rango oscila entre 64 y 256 mm y de bolo si el tamaño medio del sedimento es superior a 256 mm. Con objeto de simplificar los términos a emplear en este trabajo, mientras no se especifique lo contrario, se entenderá por río de grava todo aquél cuyo lecho se halle constituido por sedimento granular no cohesivo con un tamaño medio superior a 2 mm, tanto si corresponde propiamente al tamaño de grava como si es superior (canto o bolo). Se encuentran fuera del tratamiento de esta serie de artículos aquellos ríos que aun cumpliendo con las definiciones generales de ríos de montaña expuestas en los párrafos precedentes estén delimitados por



Río Bosia (Lleida)



Río Cinqueta (Huesca)

contornos de roca o sedimento cohesivo, habida cuenta de su comportamiento diferenciado.

2. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

La relevancia de la aportación de las áreas de montaña a los recursos hídricos mundiales es absolutamente determinante, como han puesto de manifiesto diferentes estudios. Por ejemplo, Viviroli et al. (2003) constataron que en promedio el 63% de la aportación hídrica anual de 19 grandes cuencas de cuatro continentes se generaba en las áreas de montaña, cuando dichas áreas únicamente representaban el 32% de la superficie de las cuencas (figura 1). Consiguientemente, el caudal

específico (caudal por unidad de superficie de cuenca) de las áreas de montaña casi cuadruplica al de llanura. Esto se explicaría por el efecto orográfico sobre la precipitación y la menor evaporación en las zonas montañas.

El régimen hidrológico de los ríos de montaña es acusadamente estacional, sobre todo debido a la fusión glacial o nival, lo que conlleva la regulación natural de la escorrentía al diferir la respuesta a las precipitaciones invernales a primavera y verano. Este efecto regulador tiene mayor preponderancia en las regiones de clima árido o semiárido que en las de clima húmedo (figura 1). En algunas cuencas del primer tipo de clima

mencionado, durante ciertos meses al año la práctica totalidad del agua que circula por el río en su zona de llanura tiene su origen en la montaña. De todo lo anterior se desprende la importancia capital que deberían cobrar las regiones de montaña en la gestión de los recursos hídricos.

El flujo de sedimentos que emiten las cuencas a los océanos también refleja la preponderancia del medio montano sobre el llano, como establecen Milliman y Syvitski (1992) al analizar 280 ríos de varios continentes y hallar que el 80% de la carga anual de sedimentos se origina en la zona de montaña de tales cuencas, que no supera el 20% de su superficie total. (Figura 1)

3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

En este apartado se revisan las principales características hidráulicas que caracterizan al flujo que se establece en ríos de montaña con lecho formado por material granular no cohesivo. Se incide, además, en las diferencias existentes entre este tipo de ríos y los ríos de llanura de sedimento fino.

3.1. Categorías de flujos en áreas de montaña

En ríos de cuencas de montaña, debido especialmente a la fuerte pendiente, la capacidad de transporte de sedimentos con la que cuenta el flujo originado por tormentas torrenciales de alta intensidad es muy elevada. Si existen sedimentos disponibles para la corriente, ésta presentará una importante carga de sólidos, con tamaño que va desde arcilla hasta bolo. En este sentido, y de forma esquemática, pueden establecerse tres categorías de flujo en cauces de montaña: flujo de baja concentración, flujo hiperconcentrado y lava torrencial. En los siguientes párrafos se exponen las características fundamentales de cada uno.

a.- Flujo de baja concentración

Denominaremos como flujo de baja concentración aquél que transporta relativamente pequeñas cantidades de sedimento y que se establece con un fluido newtoniano (aquel fluido en el que en régimen laminar la relación entre la tensión de corte en el fluido y el gradiente de velocidad es lineal) y que por lo general es turbulento. Este tipo de flujo también suele denominarse bifásico porque puede asumirse como buena aproximación que el transporte sólido no condiciona hidráulicamente al flujo líquido. Según Costa (1984) en esta categoría de corrientes la con-

centración de sedimentos, C , expresada como caudal sólido sobre caudal líquido (ambos en volumen) es inferior al 25% y la densidad es inferior a 1,3 g/cm³. No obstante, los umbrales entre las categorías de flujo propuestos por otros autores pueden diferir sustancialmente, por lo que aquí se presentan a título orientativo. Por ejemplo, Meunier (1991) propone un límite máximo para esta categoría de flujo del orden del 5% para C .

b.- Flujo hiperconcentrado

Un flujo hiperconcentrado transporta una gran cantidad de sedimento, en suspensión o de fondo, aunque todavía es aceptable asumir que puede darse como flujo permanente y uniforme. Sin embargo, la concentración de sedimentos modifica las características del flujo, de tal modo que no es factible ignorar la fase sólida en el cálculo de la fase líquida. El espesor de la capa móvil del transporte de fondo de sedimentos gruesos puede llegar a un 5% de la profundidad del flujo. Si nos centramos en un aspecto del flujo, el calado, éste será superior en un flujo hiperconcentrado que en un flujo sin transporte de sedimentos para el mismo caudal líquido, a igualdad del resto de condiciones. De acuerdo con Costa (1984) en un flujo hiperconcentrado C variaría entre 25-100% y alcanzaría densidades comprendidas entre 1,3 y 1,8 g/cm³.

La naturaleza hiperconcentrada de un flujo puede ser el resultado de una gran carga de sedimento cohesivo en suspensión sin apenas acarreo de material granular o viceversa, o bien una elevada concentración de ambos (figura 2). El efecto del transporte de sedimento sobre la mecánica del flujo puede ser sustancialmente diferente según domine el material cohesivo o el granular. Por ejemplo, una

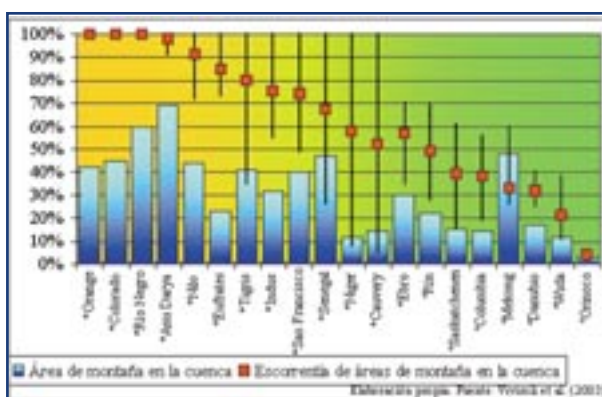


Figura 1. Contribución de la escorrentía montana a la aportación media anual y porcentaje que representa el área de montaña respecto a la superficie total de la cuenca para diferentes ríos del mundo (*, cuencas áridas y semiáridas; °, cuencas húmedas). Las líneas verticales representan el máximo y mínimo aporte mensual de la escorrentía montana respecto a la de toda la cuenca.

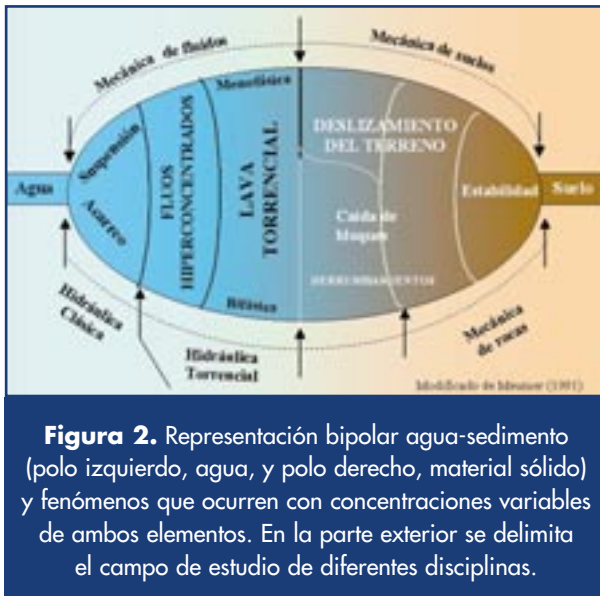


Figura 2. Representación bipolar agua-sedimento (polo izquierdo, agua, y polo derecho, material sólido) y fenómenos que ocurren con concentraciones variables de ambos elementos. En la parte exterior se delimita el campo de estudio de diferentes disciplinas.

concentración significativa de sedimento cohesivo en suspensión provoca que el fluido sea no-newtoniano y pueda tener un comportamiento similar al plástico de Bingham, material que presenta un umbral de tensión de corte, denominada cedencia, para ser movilizado. Por el contrario si se alcanzan elevadas concentraciones únicamente con transporte de fondo de material granular el fluido seguirá siendo newtoniano, sin mostrar cedencia. Todo esto hace que sea extremadamente complicado generalizar comportamientos y modelos para flujo hiperconcentrado.

c.- Lava torrencial

Por último, una lava torrencial es un flujo mezcla de agua y sedimento, grueso y fino, de carácter visco-plástico (fluido no-newtoniano) que presenta altas concentraciones de material sólido (figura 2). Las partículas más finas de arcilla generan una matriz de soporte que ofrece continuidad en todo el calado al elemento sólido, de tal modo que las partículas gruesas se encuentran presentes a cualquier profundidad. El flujo muestra un carácter

pulsátil, intrínsecamente no permanente o transitorio, por lo que no es lícito concebirlo como flujo uniforme. Para Costa (1984) en la lava torrencial el valor de C supera el 100% y la densidad sobrepasa $1,8 \text{ g/cm}^3$, mientras que Meunier (1991) considera que C varía entre el 67-230%. Meunier (1991) denomina al primer tipo

de flujo como fluvial y las otras dos categorías como flujos torrenciales, porque en ambos no es

posible tratar independientemente fase sólida y líquida a efectos de cálculo.

Se debe tener presente que en una misma avenida pueden darse los tres tipos de flujo anteriormente expuestos, variando hacia aguas abajo o con el tiempo. En el siguiente artículo, sin embargo, se expondrán las características principales de los flujos de baja concentración, que son los mejor conocidos. ■

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BATHURST, J.C. (1985): *Literature review of some aspects of gravel-bed rivers*. Institute of Hydrology, Wallingford Oxfordshire.

BUNTE, K.; ABT, S.R. (2001): "Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring". General Technical Report RMRS-GTR-74. USDA. Forest Service Rocky Mountain Research Station.

COSTA, J.E. (1984). "Physical geomorphology of debris flow". COSTA, J.E. y FLEISHER, P.J. (Eds.) *Development and application of geomorphology*. Springer-Verlag. Berlin, pp. 268-317.

JARRETT, R.D. (1990): "Hydrologic and hydraulic research in mountain rivers". *Water Resources Bulletin*. 26, 3: 419-429.

MILLIMAN, J.D.; SYVITSKI, J.P.M. (1992) "Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers". *Journal of Geology*. 100: 525-544.

MEUNIER, M. (1991). *Elements d'hydraulique torrentielle*. Etudes du CEMA-GREF, série Montagne n° 1. Grenoble.

VIVIROLI, D.; WEINGARTNER, R.; MESSERLI, B. (2003): "Assessing the hydrological significance of the world's mountains". *Mountain research and development*. 23,1: 32-40.

WOHL, E. (2000): "Mountain rivers". *Water Resources Monograph*. 14. American Geophysical Union.