



Influencia los caudales altos y extremos en el transporte de sedimentos de fondo en una Cuenca de Montaña Tropical

Diana Díaz^{1,2}, Sergio B. Morera^{1,3}, Jhon Dany Orrillo^{1,2}.

¹Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

²Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

³Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

RESUMEN

La medición del transporte de sedimentos es importante para prevenir los desastres (ej., inundaciones). Las descargas intermedias, altas y extremas, ya sea de manera aisladas ó continuas en el río, transportan diferentes tamaños de partículas y cantidad de sedimento. Para el monitoreo de sedimentos, se han desarrollado métodos directos e indirectos, y las nuevas tecnologías están en aumento, sin embargo, las calibraciones de los métodos indirectos son un desafío. Comprender el transporte de fondo en un río de montaña en los Andes sigue siendo una pregunta abierta, debido a la influencia de diversos factores (descargas, sedimento disponible, geología, topografía y uso de suelo). En nuestro trabajo, utilizamos la presa de la derivación Ronquillo, con una capacidad de almacenamiento de $68 \pm 2 \text{ m}^3$, como una trampa de sedimentos estratificados para monitorear el transporte de fondo. Cada vez que el vertedero se llena de sedimento, la limpieza se lleva a cabo abriendo las dos compuertas laterales de limpieza. El método de muestreo estratificado propuesto es pertinente. Sin embargo, la incertidumbre de medición utilizando este método se centra en la turbulencia y la re-suspensión de sedimentos durante la descarga de los caudales pico en cada evento y las partículas que se depositarán en la trampa estratificada. Finalmente, las formulas empíricas sobres-

timan el transporte de sedimentos de fondo observado durante el periodo de monitoreo, no obstante sí ponemos atención al coeficiente “a” y exponente “b” durante eventos extremos, durante eventos extremos las formulas empíricas subestimarán fuertemente el transporte de fondo observado.

PALABRAS CLAVE

Sedimento de fondo, río de montaña, río Ronquillo, trampa de sedimentos.

ABSTRACT

Bedload transport measurements are important for disaster prevention (e.g. floods). The intermediate, high and extreme discharges, either isolated or continue in the river, transport different sizes of particles and amount of sediment. Direct and indirect monitoring methods had been developed, and new technologies are in outcome increase, however, the calibration also seems to be a challenge. Understanding bedload transport in a mountain river is still an open question, due to the influence of various factors (discharges, available sediment, etc.). In our paper we develop a new methodology based on a stratified sediment trap, and using a common type of hydraulic weir infrastructure to monitor bedload on the upper mountain watershed. The Ronquillo diversion weir was used, with a storage capacity of $68 \pm 2 \text{ m}^3$. Each time the weir is filled with sediment, cleaning is carried out by opening the two lateral cleaning gates. The

proposed stratified sampling method is pertinent. However, the uncertainty of this method focuses on the turbulence and sediment resuspension during peaks discharge in each event and the particles that will be deposited in the stratified trap. Finally, empirical formulas overestimate bedload transport for the monitored average flood volume; nevertheless, if we pay attention to the coefficient “a” and exponent “b” during extreme events, both show that bedload transport will be highly underestimated by empirical formulas.

KEYWORDS

Bedload sediment, mountain river, Ronquillo river, sediment trap.

DESARROLLO DEL RESUMEN

Área de estudio

La Cuenca Ronquillo (41.7 km² y 7.1°S, 78.5°W, ver Tabla 1), está localizada en el norte del Perú, en el este de la ciudad de Cajamarca (Figura 1). Su rango de altitudes es de 3000 a 4000 m.s.n.m., y contribuye a los ríos amazónicos y desemboca en la vertiente atlántica.

	Parámetros	Valor
Cuenca Ronquillo	Área de la cuenca, Km ²	41.7
	Perímetro de la cuenca, Km	34.5
	Pendiente promedio de laderas, %	29.0
	Elevación máxima, m.s.n.m.	3985.0
	Elevación media, m.s.n.m.	3508.0
	Elevación mínima, m.s.n.m.	2835.0
Sección de río	Pendiente promedio del río, %	3.2
	Descarga máxima medida, m ³ s ⁻¹	33.7
	Descarga promedio medida, m ³ s ⁻¹	0.3
	Descarga mínima medida, m ³ s ⁻¹	0.1

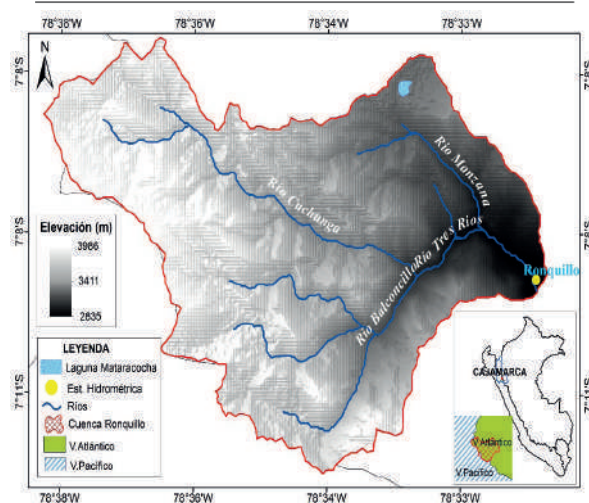


Figura 1. Cuenca Ronquillo en la vertiente atlántica (sombreado verde), el punto amarillo indica la estación hidro-sedimentológica Ronquillo, donde se encuentra la presa de derivación Ronquillo.

La temporada de lluvias ocurre de octubre a abril, la dinámica de descarga es controlada principalmente por la escorrentía superficial y el interflujo, mientras que durante la estación seca la descarga está constituida principalmente por el flujo base. La estacionalidad de la lluvia genera altas descargas, debido a la rápida escorrentía, poniendo en peligro las infraestructuras urbanas y rurales (Krois, 2016).

Comparación del transporte de fondo observado y estimado

El transporte de sedimentos de fondo se estimó a partir de la descarga promedio de los 36 picos de descarga. La Figura 2 muestra el sedimento de fondo observado y el estimado con las cuatro fórmulas empíricas seleccionadas. Mientras las descargas son más altas, la curva de sedimento de fondo observada se aproxima a la de las curvas estimadas con fórmulas empíricas, esto muestra que a tasas de altas descargas, el sedimento de fondo observado puede ser mayor que el sedimento de fondo estimado.

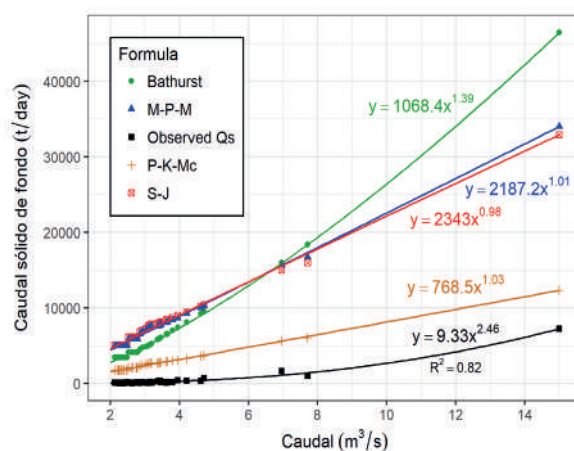


Figura 2. Curva de tendencias del sedimento de fondo observado y las tendencias del sedimento de fondo estimadas utilizando las fórmulas empíricas: Subsustrato basadas en la ecuación de Parker, Klingteman y McLean 1982 (PK-Mc), Smart y Jaeggi 1983 (SJ), Bathurst 1987 y Meyer - Peter y Muller 1984 (MPM).

Los coeficientes “a” representan la disponibilidad de sedimentos en la cuenca, observando que en el caso de las fórmulas empíricas (768.5 a 2343) son mucho mayores que la observada (9.33). Sin embargo, el exponente “b” da la energía para entregar el sedimento en la estación de Ronquillo. Las fórmulas empíricas varían entre 0.98 y 1.39, mientras que la de lo observado está más cerca de

2-3 pliegues ($b = 2.46$). Los resultados muestran claramente que el río de montaña andino muestra poderosas condiciones erosivas y no están limitados por el suministro.

CONCLUSIÓN

En la cuenca hidrográfica de montaña, las condiciones de flujo y el material de transporte de roca dificultan el uso de las trampas de sedimento de fondo clásica. El método propuesto, en este estudio, es una mezcla de atrapamiento y sedimentación del vertedero. Usamos un vertedero de derivación ($68 \pm 2 \text{ m}^3$) para almacenar el sedimento de fondo durante la descarga de los picos. Si el propósito es estimar el sedimento total transportado cada año, y la cuenca montañosa no presenta frecuentemente picos de descarga, las fórmulas empíricas podrían calibrarse para obtener ese valor. Sin embargo, si el objetivo es diseñar infraestructuras hidráulicas, ninguna de las fórmulas empíricas representa la disponibilidad de sedimentos o la capacidad de transporte de los ríos de montaña para transportar los sedimentos de fondo en una cuenca de captación de montaña tropical. Los estudios futuros identificarán la granulometría de los sedimentos acumulados a lo largo del tiempo, bajo diferentes tipos de inundaciones, esto nos permitirá calibrar los métodos acústicos indirectos, con el fin de mejorar el diseño de las infraestructuras hidráulicas en las regiones montañosas.

REFERENCIAS

Bathurst, J., Graf, W., & Cao, H. (1987). Bed load discharge equations for steep mountain rivers. *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*. John Wiley and Sons New York. 1987. p 453-491.

Krois, J. (2016). *Soil and Water Conservation in the Northern Andes of Peru*. Freie Universität Berlin.

Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. Paper presented at the IAHSR 2nd meeting, Stockholm, appendix 2.

Parker, G., Klingeman, P. C., & McLean, D. G. (1982). Bedload and size distribution in paved gravel-bed streams. *Journal of the Hydraulics Division*, 108(4), 544-571.

Smart, G. M. (1984). Sediment transport formula for steep channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(3), 267-276. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:3(267)