

# **SEDIMENTOS, SOCAVACIÓN EN ESTRIBOS, PILAS Y RIESGO EN EL PUENTE DEL RÍO MUYURINA, AYACUCHO-2019**

**Jorge E. Pastor Watanabe, Leonidas Arias Baltazar**

Unidad de Investigación e Innovación de Ciencias Agrarias  
Programa de Investigación en Agua y Energía - Área de Recursos Hídricos  
E-mail: Jpw7\_74@hotmail.com

## **RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivos, determinar los parámetros geomorfológicos e hidrológicos que permitan estimar la carga de arrastre de fondo y carga total; así como la profundidad de socavación general y localizada en el puente del río Muyurina de la cuenca de Yucaes. También se establecieron las metodologías para estimar la carga de arrastre de fondo y carga total de sedimentos. Se estimó el caudal máximo promedio de la cuenca a través del método de Mac Math, Iszkowski y el método área – pendiente, obteniéndose ( $Q_p = 248,29 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y se obtuvo la curva granulométrica para determinar el diámetro medio ( $D_m = 9.2 \text{ mm}$ ), la rugosidad del río ( $n = 0.054$ ). Se emplearon fórmulas empíricas para determinar el gasto del arrastre de fondo como la de Meyer – Peter y Muller ( $g_B = 21.97 \text{ kgf} / \text{s}$ ), Kalinnske ( $g_B = 13.29 \text{ kgf} / \text{s}$ ) de Schoklitsch con  $g_B = 14.98 \text{ kgf} / \text{s}$  y de Magnold para determinar la carga total de sedimentos ( $g_B = 28.55 \text{ kgf} / \text{s}$ ). En la evaluación se obtuvo una profundidad de socavación general de: 2.19 m y que debe considerarse a este cálculo un rango de seguridad. Para este análisis se ha realizado el cálculo para un tiempo de retorno de 200 años. Tener presente el riesgo de la erosión causada por el río durante las crecidas, la extracción de arena y ripio en el curso del río, la supervisión y mantención de las obras es clave para prevenir colapsos y accidentes. Los fenómenos ambientales son uno de los principales agentes de afectación a la infraestructura vial del país.

Palabras clave: parámetros geomorfológicos, carga de fondo, arrastre de fondo, socavación general y localizada.

## **SEDIMENTS, UNDERMINING OF ABUTMENTS, PILES AND RISK IN THE MUYURINA RIVER BRIDGE, AYACUCHO-2019**

### **ABSTRACT**

The objective of this research was to determine the geomorphological and hydrological parameters that allow estimating the bottom drag and total load; as well as the depth of general scour and located in the Muyurina river bridge of the Yucaes basin. Methodologies were also established to estimate the bottom trawl load and total sediment load. The average maximum flow of the basin was estimated through the Mac Math, Iszkowski method and the area-slope method, obtaining ( $Q_p = 248.29 \text{ m}^3 / \text{s}$ ) and the granulometric curve was obtained to determine the average diameter ( $D_m = 9.2 \text{ mm}$ ), the roughness of the river ( $n = 0.054$ ). Empirical formulas were used to determine bottom trawl expenditure such as that of Meyer - Peter and Muller, Kalinnske de Schoklitsch with and Magnold to determine the total sediment load. The evaluation obtained a general scour depth of: 2.19 m and a safety range must be considered in this calculation. For this analysis, the calculation has been made for a return time of 200 years. Keeping in mind the risk of erosion caused by the river during floods, the extraction of sand and gravel in the course of the river, the supervision and maintenance of the works is key to prevent collapses and accidents.

Keywords: geomorphological parameters, bottom load, bottom drag, general and localized undercutting.

### **INTRODUCCIÓN**

La erosión constituye uno de los problemas medioambientales y socioeconómicos más importantes a nivel global del siglo XXI. (Walling y Fang, 2003).

El problema de la erosión requiere el reconocimiento de los procesos erosivos y el estudio de sus factores causales, para establecer políticas de conservación, la lluvia es el factor determinante en los procesos de erosión hídrica. (Fournier, 1972).

Barahona (2006), menciona, que la problemática en las cuencas, en la mayoría de los casos, es el resultado de acciones antropogénicas que posteriormente se revierten en contra del hombre.

Por tanto, los problemas que se presentan en los diseños de estructuras hidráulicas cuando se necesita evaluar de manera confiable los volúmenes de sedimentos que los ríos transportan hasta las obras que a menudo ocasionan fallas en la operación de bocatomas, presas de embalse, puentes, defensas ribereñas, etc. De ahí radica la importancia de realizar estudios que conlleven a un mejor manejo de los sedimentos del río.

El trabajo que nos inspiró realizar, es considerar una metodología para estimar la producción y el transporte de sedimentos, la carga total de sedimentos transportada por la red de drenaje, el coeficiente de escorrentía y los parámetros de la cuenca y que sea aplicable para predecir el comportamiento de la cuenca.

El presente trabajo de investigación ha tenido como objetivos los siguientes:

1. Establecer los parámetros geomorfológicos, hidrológicos de la cuenca Yucaes.
2. Determinar la carga de fondo y total de sedimentos transportados por la red de drenaje.
3. Evaluar el riesgo y la profundidad de socavación en los estribos del puente del río Muyurina de la cuenca de Yucaes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó el año 2019, en el área de recursos hídricos del Programa de Investigación en Agua y Energía, de la Facultad de Ciencias agrarias – Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola - Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Yucaes, que está ubicada en el Centro Sur del Perú, en la Provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho, abarca parte de los distritos de Chiara, Socos, Carmen Alto, San Juan Bautista, Acocros, Tambillo y Ayacucho. La cuenca río Yucaes se encuentra a una altitud que fluctúa ente 2500 – 4300 msnm; y con un área de aproximadamente 692.80 km<sup>2</sup>.

### Diseño metodológico detallado

#### Diseño de la Investigación

Según el Tipo de Diseño de Investigación está considerada como No Experimentales.

Es un diseño de carácter cualitativo y cuantitativo. Estadístico e hipotético (Hernández, Fernández y Baptista, 2006), estadístico por la generalización de los resultados e hipotético, debido al contraste de la hipótesis.

El diseño utilizado es bivariado, donde se utiliza dos variables.

#### Diagrama simbólico de diseño

Diagrama de la investigación correlacional:

Se presenta el Diseño Correlacional.

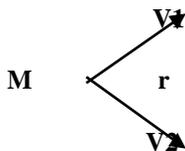


Fig. 1 Diagrama de investigación

Dónde:

M = Muestra

VI = Caudal del río Yucaes

VD = Transporte de sedimentos y socavación

r = relación

### Enfoque metodológico

El enfoque metodológico que se utilizará para la realización del presente trabajo será:

#### Primera etapa

Se debe realizar el ensayo de granulometría de acuerdo a la norma ASTM C136-96

Utilizar la metodología de Cowan para estimar (n)

El método de Cowan es un método sencillo de cálculo y su aplicación es muy frecuente en el cálculo de diversos parámetros hidráulicos como el caudal circulante en un curso de natural de agua.

En lo que respecta al cálculo del valor de “n”, por el método de estudio, se aplica la siguiente fórmula:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

#### Estudio hidrológico

- Determinar el caudal máximo de la cuenca con los métodos:

. Método Area – pendiente

. Método Mac Math

. Método de Iszkowski

#### Segunda etapa

Utilizando las fórmulas propuestas en el marco teórico para estimar el aporte de sedimentos.

#### - Método de Meyer – Peter y Muller

$$g_B = 8 * \gamma_s * (g * \Delta * D_m^3)^{1/2} * \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{3/2} * \tau_* - 0.047 \right]^{3/2}$$

#### - Método de Kalinske:

Determinación del arrastre en la capa de fondo

Se emplearon las siguientes fórmulas:

**Cálculo del esfuerzo cortante,  $\tau$  :**

$$\tau = \gamma * R * S$$

El esfuerzo cortante crítico medio que Kalinske propone tomar en consideración para su análisis es:

$$\tau_c = 0.116 * (\gamma_s - \gamma) * D$$

#### Uso de la relación de Kalinske:

$$2.5 \frac{\tau_c}{\tau_o} = \frac{g_B}{\gamma_s * U_* * D}$$

#### - Método de Schoklitsch

Con la fórmula

$$g_B = 2500 * S^{1/3} * (q S^{7/6} - 19.05 \tau_{*c}^{5/3} \Delta^{5/3} D^{3/2})$$

**- Método de Bagnold**

- Se calcula la potencia utilizable con la siguiente expresión:

$$W = \gamma * d * S * V$$

- De la ecuación propuesta:

$$g'_{BT} = W * \left[ \frac{e_b}{\tan \alpha} + 0.01 * \left( \frac{V}{\omega} \right) \right]$$

**Gasto solido por unidad de ancho, g<sub>BT</sub>:**

$$g_{BT} = g'_{BT} * \left[ \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \right]$$

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**RESULTADOS**

Estudio hidrológico

Se tiene como información:

Datos base de la cuenca de Yucaes:

Saccatoma (2017)

Área de la cuenca: 692.8 km<sup>2</sup>

4.1 Cálculo del coeficiente de rugosidad del río

Representaremos todos los datos obtenidos en campo en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valores obtenidos del coeficiente de rugosidad

Rugosidad	Valor obtenido
n <sub>b</sub>	0.024
n <sub>1</sub>	0.01
n <sub>2</sub>	0.005
n <sub>3</sub>	0.02
n <sub>4</sub>	0.005
m	1.00

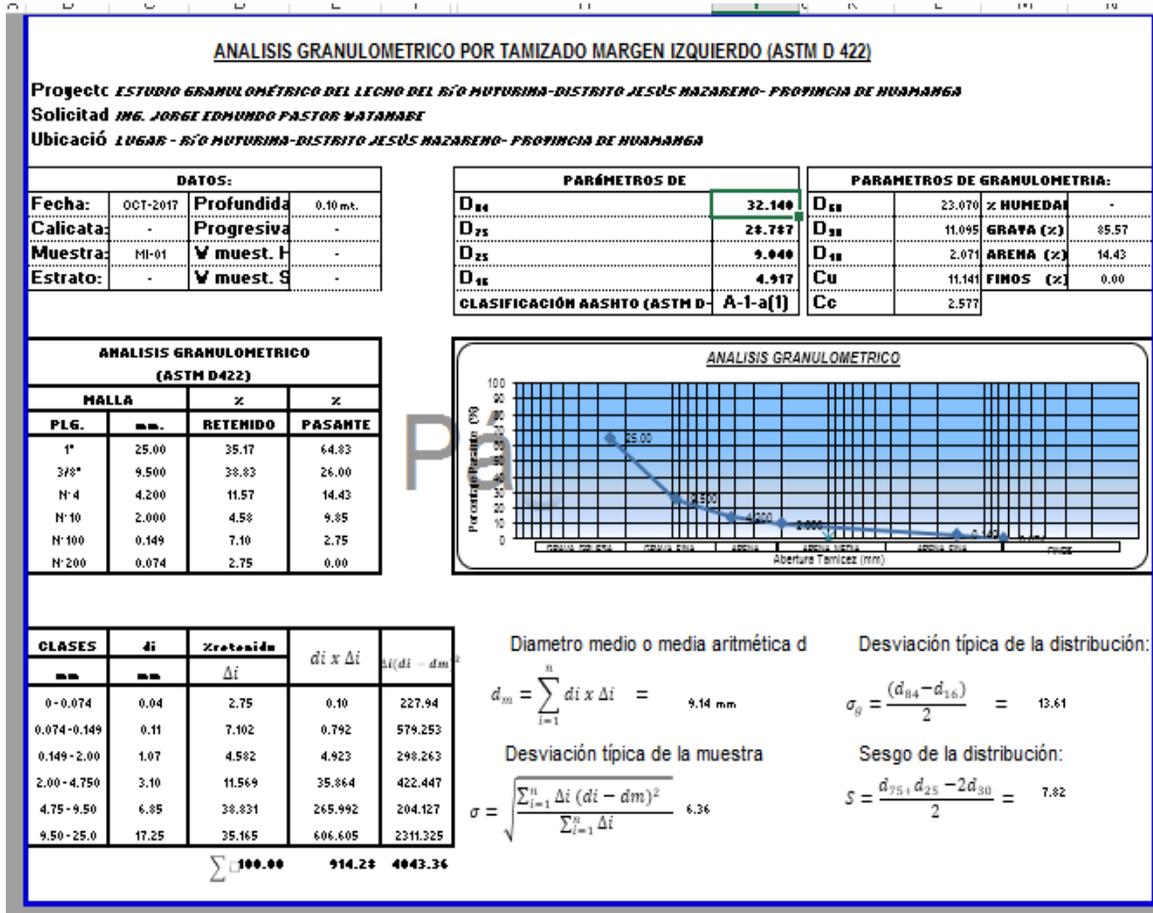
Con los valores representados en el software de Bocatomas (Luque) Luque, Javier) y procederemos a calcular el valor de “n” con la fórmula propuesta de Cowan.

$$n = (n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)*m \rightarrow n = (0.024+0.010+0.005+0.020+0.005)*(1.00)$$

$$n=0.054.$$

Del análisis granulométrico se ha obtenido la tabla 2.

Tabla 2. Análisis granulométrico del río Muyurina – Puente Muyurina.



$$D_m = 9.2 \text{ mm}$$

### Determinación del transporte de arrastre de fondo

#### Método de Meyer – Peter y Muller

Fórmula para evaluar el arrastre de fondo

$$g_B = 8 * \gamma_s * (g * \Delta * D_m^3)^{1/2} * \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{3/2} * \tau_* - 0.047 \right]^{3/2}$$

$$g_B = 8 * 2650 * (9.81 * 1.65 * 0.0092^3)^{1/2} * \left[ \left( \frac{0.018}{0.0211} \right)^{1/2} * 0.1181 - 0.047 \right]^{3/2}$$

$$g_B = 0.4970 \text{ kgf} / \text{s} - \text{m}$$

$$G_B = g_B * B = 0.4970 * 43.25 = 21.4960 \text{ kgf} / \text{s}$$

### Método de Kalinske:

Determinación del arrastre en la capa de fondo

a. Cálculo del esfuerzo cortante,  $\tau$  :

$$\tau = \gamma * R * S = 1000 * 2.5 * 0.0008 = 2 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

b. Cálculo del esfuerzo cortante crítico,  $\tau_c$  :

El esfuerzo cortante crítico medio que Kalinske propone tomar en consideración para su análisis es:

$$\tau_c = 0.116 * (\gamma_s - \gamma) * D$$

Sustituyendo sus valores en la ecuación, se tiene:

$$\tau_c = 0.116 * (2650 - 1000) * 0.0092 = 1.7609 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

$$0.0055 = \frac{g_B}{\gamma_s * U_* * D}$$

El transporte de fondo unitario,  $g_B$ :

$$g_B = 0.0055 * 2650 * 2.296 * 0.0092 = 0.3073 \text{ kgf} / \text{s}$$

El transporte total de fondo,  $G_B$ :

$$G_B = g_B * B = 0.3073 * 43.25 = 13.29 \text{ kgf} / \text{s}$$

### Método de Schoklitsch

Fórmula para evaluar el arrastre de fondo

De la fórmula de Schoklitsch, se tiene:

$$g_B = 2500 * S^{1/3} * \left[ q * S^{7/6} - 2.351 * 10^{-5} * \Delta^{5/3} * D^{7/18} \right]$$

Sustituyendo sus valores:

$$g_B = 2500 * 0.0008^{1/3} * \left[ \frac{248.29}{43.25} * 0.0008^{7/6} - 2.351 * 10^{-5} * 1.65^{5/3} * 0.0092^{7/18} \right]$$

$$g_B = 0.3464 \text{ kgf} / \text{s}$$

$$G_B = g_B * B = 0.3464 * 43.25 = 14.98 \text{ kgf} / \text{s}$$

### Método de Bagnold

Se calcula la potencia utilizable con la siguiente expresión:

$$W = \gamma * d * S * V$$

$$W = 1000 * 2.5 * 0.0008 * 2.296 = 4.5920 \text{ kg} - \text{m} / \text{s}$$

Resultando:

$$g_{BT} = g'_{BT} * \left[ \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \right]$$

Gasto sólido por unidad de ancho,  $g_{BT}$ :

$$g_{BT} = g'_{BT} * \left( \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \right) = 1.0904 \frac{\text{kgf}}{\text{m} - \text{s}} * \left[ \frac{1000}{2650 - 1000} \right] = 0.66 \frac{\text{kgf}}{\text{m} - \text{s}}$$

Sustituyendo los valores de los parámetros anteriores en la ecuación, se obtiene:

$$g_{BT} = 0.6971 * \left[ \frac{1000}{2650 - 1000} \right] = 0.4225 \frac{\text{kgf}}{\text{m} - \text{s}}$$

Gasto sólido total,  $G_{BT}$ :

$$G_{BT} = g_{BT} * B = 0.66 * 43.25 = 28.55 \text{ kgf} / \text{s}$$

La profundidad de socavación general en el cauce del puente del río Muyurina de la cuenca de Yucaes. Tabla 3 y 4.

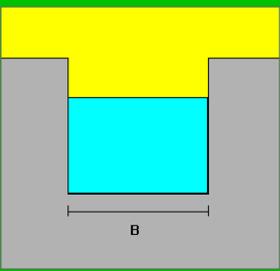
**Tabla 3.** Calculo del ancho de encauzamiento, B:

Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	248,29
Pendiente río (m/m)	0,0327
Rugosidad río N	0,054
Exponente m	0,50
Factor de fondo Fb	1,30
Factor de orilla Fs	0,10
Coefficiente K	10

Fórmulas de :

ALTUNIN B (m)	51,5512
PETTIT B (m)	38,6051
BLENCH B (m)	102,8323
<input checked="" type="radio"/> Promediar (m) :	64,3295
<input type="radio"/> Establecer (m) :	



El diagrama muestra un puente con un ancho de encauzamiento B. El puente está representado por una estructura gris con un hueco central de color azul. El ancho del hueco central está etiquetado como 'B'.

**Tabla 4.** Cálculo de la profundidad de socavación.

Parámetro	Valor
Caudal Diseño (m <sup>3</sup> /s)	264,83
Dm partículas (mm)	9,2
Pc Material (Kg/m <sup>3</sup> )	2650,00
Tirante Inicial Yn (m)	1,35
Ancho Efectivo B (m)	43,25
Coefficiente β	1,0
Exponente x	0,27
Coefficiente μ	0,97

Resultados	
Coefficiente alfa	3,8281
Profundidad Total (m)	3,5438
Profundidad Ys (m)	2,1938

Suelo Granular     Suelo Cohesivo

**Una profundidad de socavación general de: 2.19 m**

## DISCUSIÓN

Se tienen las siguientes discusiones:

Aun cuando el arrastre de fondo representa menos de 20% de la descarga total de sedimentos de una corriente natural (Reid y Frostick, 1987), éste tiene importancia inmediata en la planeación para el manejo de cuerpos de agua, para aumentar el conocimiento de los impactos de la sedimentación sobre hábitats acuáticos, azolve de vasos de almacenamiento y cauces naturales, y para identificar cambios climáticos según estudios recientes (Osterkamp y Parker, 1991; Leopold, 1994; Lane *et al.*, 1996). No obstante, lo anterior, se carece de una fuente organizada y sumariada sobre transporte de sedimentos de fondo disponible en español.

El enfoque tradicional para la predicción de la descarga de sedimentos de fondo en corrientes naturales ha sido a través del uso de ecuaciones empíricas como (fórmulas de Meyer – Peter y Muller, Kalinske, Schoclitich) y transporte de carga total la fórmula utilizada de Bagnold que ha incluido la potencia utilizable muy importante para los cálculos. La importancia de elegir una ecuación con gran capacidad predictiva, permite además de mejorar la habilidad para implementar acciones que reduzcan la descarga de sedimentos en cauces, vasos de almacenamiento e infraestructura.

En la literatura se reporta que los contaminantes que poseen coeficientes de distribución suelo-agua muy altos, merecen una atención especial en estudios de calidad del agua porque la concentración del contaminante es mayor en la superficie de las partículas de sedimento, en suspensión o de fondo, que el disuelto en el agua (Oliver y Charlton, 1984). (Szupiany *et al.* 2005), los resultados sedimentológicos obtenidos muestran que aproximadamente el 95% del material del lecho corresponde a arenas medias y finas, y el resto a material fino.

Con el método de Cowan se ha obtenido un coeficiente de rugosidad del río ( $n = 0,054$ ), no tan alta que va hacer importante para el empleo de nuestras fórmulas propuestas para la determinación del caudal máximo y la carga de sedimentos.

Así mismo, la determinación del análisis granulométrico nos permitirá un mejor análisis de las fórmulas que se proponen para la determinación de la carga total.

Se considera un caudal de diseño a través de las fórmulas empíricas del método de Mac Math, Iszkowski y el método Area – pendiente obteniéndose un caudal líquido promedio ( $Q = 248.29 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y analizado para un tiempo de retorno TR = 200 años). Asimismo, se ha realizado el análisis granulométrico y la determinación de la rugosidad del río ( $n = 0.063$ ), que son aspectos importantes para la estimación del aporte de sedimento de la cuenca del río Yucaes.

El uso y aplicación de fórmulas empíricas para estimar la carga de sedimentos en un período dado no produce resultados precisos, pero permite determinar índices para comparar los potenciales erosivos en cuencas de la misma región. Es evidente que solamente la modelación del transporte de sedimentos podría ayudar a determinar de una manera aproximada la carga real de transporte de sedimentos en función de la capacidad de transporte del río y del abastecimiento potencial de sedimentos por parte de la cuenca.

El método Bagnold es aplicable para partículas sólidas con diámetros mayores de 0.015 mm.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Basile, P. A. 2003. Geomorfología e Hidráulica Fluvial. Centro Universitario Rosario de Investigaciones hidroambientales. Universidad Nacional de Rosario – Argentina. 20 p.

Gracia, S. J. y Maza, A.J. (1997). Morfología de Ríos. Instituto de Ingeniería UNAM. México.

Kirpich, Z.P. Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Eng. 10 (6), 362. 1940.

Meyer-Peter, E y R. Muller. (1948). Fórmulas for bedload transport. International Association for hydraulic Structures Research. Stockholm, Sweden.

Mizuyama, T. y ShimOHIGASHI, H. (1985). Aplicación a la cuenca del Río Allahualla Influence of fine sediment concentratios on sediment transportes rates. Jap. Civil Eng. Jour 27-1.

Mizuyama, T. y Shimohigashi, H. (1985). Aplicación a la cuenca del Río Allahualla Influence of fine sediment concentratios on sediment transportes rates. Jap. Civil Eng. Jour 27-1.

S

choklitsch, A. (1934). Der geschiebtrieb und die geschiebefracht. Wasserkraft Wasserwirtschaft, N° 4, pp. 1-7.

Schoklitsch, A. (1934) Der geschiebtrieb und die geschiebefracht.

Wasserkraft Wasserwirtschaft, 4, 1-7.

Schoklitsch, A. (1950) Handbuch des Wasserbaues. Springer Verlag, New York. (Pp. 14:13).

Walling, D. E. & Fang, D. (2003). “Recent trends in the suspended sediment loads of the world’s rivers.” Global and Planetary Change.