

# ESTIMACIÓN DEL APOORTE DE SEDIMENTO EN LA CUENCA DEL RÍO YUCAES – HUAMANGA - AYACUCHO - 2018

**Jorge Pastor Watanabe**

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, análisis granulométrico, que permitieron estimar la carga en suspensión y de arrastre de fondo, asimismo las metodologías utilizadas para estimar la producción de sedimentos en la cuenca de Yucaes. Se emplearon metodologías para calcular las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (curvas I-D-F), así como los métodos empleados para calcular el caudal máximo promedio (244.89 m<sup>3</sup>/s) y se empleó la curva granulométrica para determinar el diámetro medio (D<sub>m</sub>= 9.2 mm), la rugosidad del río (n= 0.063). También, se utilizaron metodologías para estimar la capacidad de transporte de sedimentos de una corriente como la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE), el método propuesto por Gracia, la USBR, Schoklitsch, Mizuyama & Shimohigashi, Smart & Jaeggi, Bathurst et al., Meunier, Rickenmann, etc.

Palabras clave: Parámetros geomorfológicos, carga en suspensión, arrastre de fondo, sedimentos.

## ESTIMATING THE CONTRIBUTION OF SEDIMENT IN THE YUCAES RIVER BASIN - HUAMANGA - AYACUCHO - 2018

### ABSTRACT

The objective of this research was to determine geomorphological and hydrological parameters, granulometric analysis, which allowed us to estimate the load in suspension and bottom trawling, as well as the methodologies used to estimate sediment production in the Yucaes basin. Methodologies were used to calculate the Intensity - Duration - Frequency curves (IDF curves), as well as the methods used to calculate the average maximum flow (244.89 m<sup>3</sup> / s) and the granulometric curve was used to determine the average diameter (D<sub>m</sub> = 9.2 mm ), the roughness of the river (n = 0.063). Also, methodologies were used to estimate the sediment transport capacity of a stream such as the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE), the method proposed by Gracia, the USBR, Schoklitsch, Mizuyama & Shimohigashi, Smart & Jaeggi, Bathurst et al., Meunier, Rickenmann, etc.

Keywords: Geomorphological parameters, suspension load, bottom drag, sediments.

### 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 me inspiró estar realizando, 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. Determinar los parámetros geomorfológicos, hidrológicos, estudios de suelos de la cuenca Yucaes.
2. Metodologías para estimar la producción de sedimentos en la cuenca de Yucaes.
3. Estimar la carga total de sedimentos transportada por la red de drenaje.

### MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó el año 2018, 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 enfoque metodológico, el tipo de diseño de Investigación está considerada como No Experimental.

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**

El diagrama formalizado o simbólico de la investigación, (Sánchez-Reyes, 1983: 61-66)

Diagrama de la investigación correlacional:

Se presenta el Diseño Correlacional.

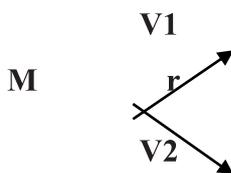


Figura 1: Diagrama de investigación

M=Muestra

VI=Caudal del río Yucaes

VD= Transporte de sedimentos

r=relación

**Enfoque metodológico**

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

**Nivel de investigación**

En este caso utilizaremos la investigación es de tipo correlacional y explicativa, la cual de acuerdo con (Hernández, Fernández y Baptista, 2006), la primera evalúa la relación que existe entre dos o más variables y la segunda establece la causa de los sedimentos, debido a las máximas avenidas.

Se realizó lo siguiente:

El ensayo de granulometría de acuerdo a la norma ASTM C136-96

Se utilizó la metodología de Cowan para estimar el coeficiente de rugosidad del río (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 natural de agua.

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

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

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

- Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) se define:

$$Y = AS = 1.856 * (Q * I_{máx...})^{0.56} * (A)^{0.12} * KxLxSxCP_m$$

- Con el método propuesto por Gracia (s.f)

El coeficiente de entrega de sedimentos CES:

$$CES = 100 * \frac{AS}{ET}$$

- Método de la United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR)

$$AS = 1421.8 * (A_c)^{-0.229}$$

Dónde:

AS: aporte de sedimento, en m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>-año

Ac = área de la cuenca en km<sup>2</sup>

- Mizuyama y Shimohigashi

$$C = \frac{20}{((\frac{\rho_s}{\rho}) - 1)^2} S^2 (6) \quad \text{Tomando } (\frac{\rho_s}{\rho}) = 2.65 \text{ resulta}$$

$$C = 7,35S^2 (7)$$

- Mizuyama

$$C = 5.5S^2 (3)$$

- Método de Schoklitsch

Con la fórmula

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

- Smart Y Jaeggi (1983)

$$C = 2.5S^{1.6}$$

- Bathurst et al. (1987)

Proponen la ecuación de schoklitsch:

$$C = \frac{2.5}{(\frac{\rho_s}{\rho}) - 1} S^2 (1 - \frac{q_c}{q}) (8)$$

Si se considera  $(\frac{\rho_s}{\rho}) = 2.65$  y  $(\frac{\tau_c}{\tau}) \rightarrow 0$  se obtiene:

$$C = 0.9S^{1.5}$$

Meunier (1989)

$$C = 6.3S^{2.02}$$

Rickenmann (1990)  
Propone la ecuación:

$$C = \frac{11}{\left(\frac{\rho_s}{\rho}\right) - 1} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{0.2} S^{2.1} \quad (11)$$

Considerando  $\left(\frac{\rho_s}{\rho}\right) = 2.65$  para granulometría sensiblemente uniforme  $\left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{0.2} = 1.05$  puede escribirse:

$$C = 7.0S^{2.1}$$

## 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>

### Cálculo del coeficiente de rugosidad del río

Representaremos todos los datos obtenidos en campo en la siguiente tabla 1:

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

| rugosidad      | Valor obtenido |
|----------------|----------------|
| n <sub>0</sub> | 0.028          |
| 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 <sub>5</sub> | 1.00           |

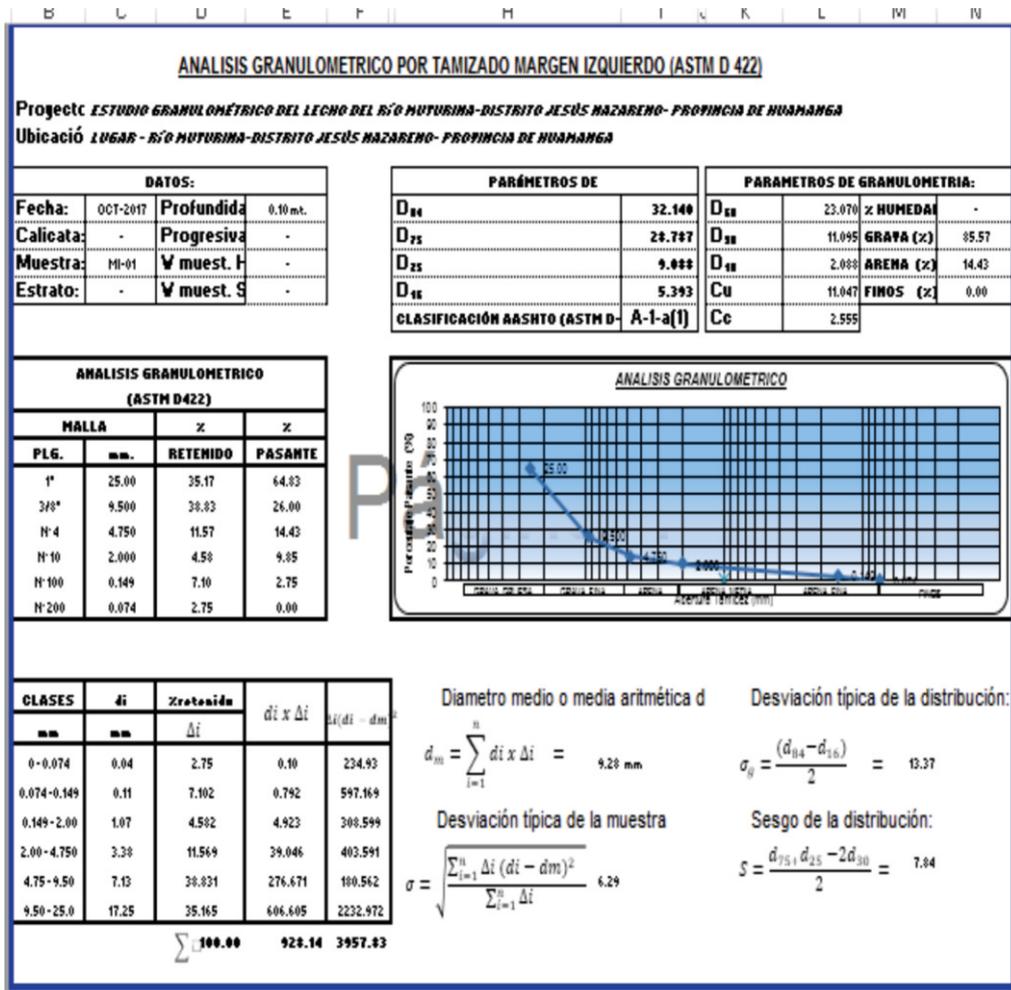
Con los valores representados en la tabla 1, obtenidos de la fase de campo de la condición del cauce para el coeficiente de rugosidad, se procedió a calcular el valor de “n” con la fórmula propuesta de Cowan.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

$$n = (0.028 + 0.010 + 0.005 + 0.020 + 0.005) * 1.00$$

$$n = 0.063$$

### Del análisis granulométrico se ha obtenido



**Estimación del aporte de sedimento, AS:**

Cálculo de la capacidad de transporte de una corriente a través de la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) se define:

$$Y = AS = 1.856 * (Q * I_{m\acute{a}x})^{0.56} * (A)^{0.12} * KxLxSxCP_m$$

Datos:

P = 660.06 mm/año en promedio

Cálculo de Q:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

Calculo S:

$$S = 25.4 * \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots (mm)$$

$$S = 25.4 * \left( \frac{1000}{80} - 10 \right) \dots = 63.5 (mm)$$

Calculando la escorrentía directa en lámina de agua, Q:

$$Q = \frac{(660.06 - 0.2 * 63.5)^2}{(660.06 + 0.8 * 63.5)} = 589.53 \text{ mm}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 5.80 \text{ mm/h (curvas I - D - F)}$$

A = 69,280.00 ha

K = 0.016 Ton\*ha\*h/ha\*MJ\*mm

L.S = 5.255 Adim.

C = 0.24 Adim.

Pm = 0.84 Adim.

$$Y = 1.856 * (589.53 * 5.80)^{0.56} * (69,280)^{0.12} * 0.016 * 5.255 * 0.24 * 0.84$$

$$AS = Y = 11.42 \text{ t/ (ha*año)}$$

Con el método propuesto por Gracia (s.f)

El coeficiente de entrega de sedimentos CES:

$$CES = 100 * \frac{AS}{ET}$$

Despejando AS obtenemos la siguiente fórmula:

$$AS = \frac{CES * ET}{100}$$

Considerando el figura 2, de la relación Área – CES, se calcula el % CES (ASCE) aproximadamente CES = 24 %.

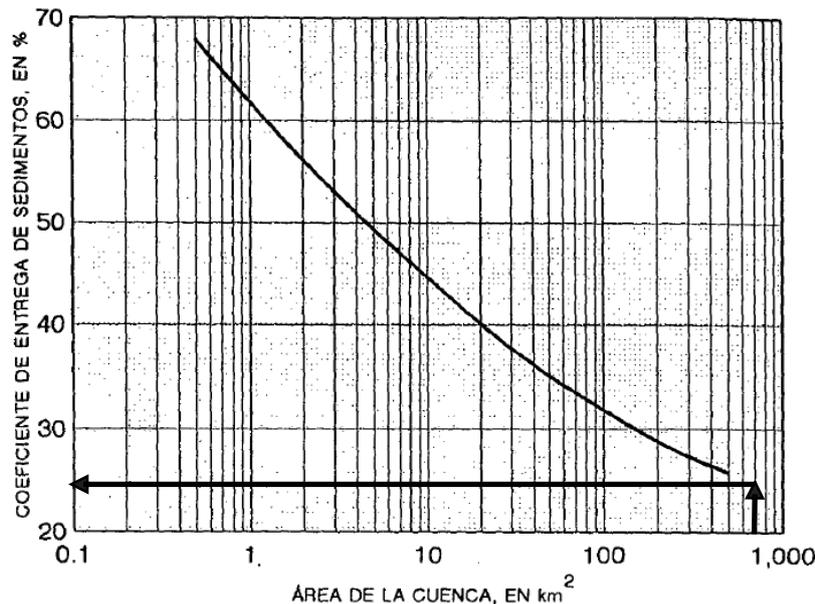


Figura 2: Gráfica para determinar el coeficiente de entrega de sedimentos CES

Fuente: Gracia (s.f.)

$$ET = A_a$$

Aa = 69.95 t/ha\*año.

ET = 69.95 t/ha\*año.

$$AS = \frac{24 * 69.44}{100}$$

$$AS = 16.67 \text{ t/ha*año.}$$

La USBR, propone un criterio para evaluar el aporte de sedimentos (AS), que se basa en mediciones realizadas en varias cuencas del suroeste de EUA. La ecuación propuesta es la siguiente:

$$AS = 1421.8 * (A_c)^{-0.229}$$

Dónde:

AS: aporte de sedimento, en m³/km²-año

Ac = 692.80 km²

Sustituyendo valores en la ecuación propuesta, se tiene:

$$AS = 1421.8 * (692.80)^{-0.229} = 317.94 \frac{m^3}{km^2 * año} * \frac{2.65 ton}{m^3} * \frac{1 km^2}{100 ha}$$

$$AS = 8.43 t / (ha * año)$$

La estimación de aporte de sedimentos promedio es 12.19 t/ (ha\*año).

### Método de Schoklitsch

Fórmula para evaluar el arrastre de fondo

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

Fórmula de Meyer-Peter y Muller

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) * D_M} = 0.047$$

$$\tau_c = 0.047 * (1600) * 0.0092 = 0.6918 \frac{kg}{m^2}$$

$$G_s = 2500 * (18) * (0.0019)^{1/3} \left[ \left( \frac{244.89}{18} \right) (0.0019)^{7/6} - 19.05 * (0.6918)^{5/3} * 1.60^{5/3} * 0.0092^{3/2} \right]$$

$$G_B = 68.12 kg / s$$

### Cálculo de la capacidad de transporte de una corriente

De la fórmula propuesta por los autores que investigan está temática:

$$C = \frac{Q_s}{Q}$$

La ecuación anterior se puede expresar:

$$Q_s = Q * C$$

$$C = \frac{20}{\left[ \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right) - 1 \right]^2} * S^2$$

$$\left( \frac{\rho_s}{\rho} \right) = 2.65$$

$$S = 3.96 \%$$

$$Q = 244.89 m^3/s$$

$$C = 7.35 * 0.04^2$$

$$C = 0.01176$$

Sustituyendo valores en la ecuación propuesta, se tienen:

a) Mizuyama

$$Q_s = 5.5 * 0.04^2 * 244.89 = 2.155 m^3/s$$

b) Mizuyama y Shimohigashi:

$$C = 7.35 * S^2$$

$$Q_s = 7.35 * 0.04^2 * 244.89 = 2,8789 m^3/s$$

c) Smart y Jaeggi

$$Q_s = 2.5 * 0.04^{1.6} * 244.89 = 3.5498 m^3/s$$

d) Bathurst et al:

$$Q_s = 0.94 * 0.04^{1.5} * 244.89 = 1.7632 m^3/s$$

e) Meunier:

$$Q_s = 6.3 * 0.04^{2.02} * 244.89 = 2.314 m^3/s$$

f) Rickenmann 1:

$$Q_s = 7 * 0.04^{2.1} * 244.89 = 1.9879 m^3/s$$

g) Rickenmann 2:

$$Q_s = 9.26 * 0.04^{2.3} * 244.89 = 1.3963 m^3/s$$

h) Rickenmann 3:

$$Q_s = 1.56 * 0.04^{1.5} * 244.89 = 3.056 m^3/s$$

## 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. 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).

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 no tan alta que va hacer importante para el empleo de nuestras fórmulas propuestas para la determinación de 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.

## Conclusiones

Se concluye con un trabajo de investigación donde se realiza un estudio de hidrología, de hidráulica fluvial obteniéndose no solamente la rugosidad del río, la curva granulométrica que son aspectos importantes para la estimación del aporte de sedimento de la cuenca de Yucaes.

Una evaluación de las metodologías y fórmulas empleadas para la estimación del aporte de sedimentos al río.

Se han realizado con el empleo de fórmulas empíricas la estimación del aporte de sedimento en la cuenca del río Yucaes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). Metodología de la Investigación. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana de México. 497 pp.

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.

Saccatoma, V. (2017). Estimación de la erosión hídrica y el manejo de aguas en la cuenca de Yucaes – Huamanga – Ayacucho - 2017. (Tesis para el título profesional). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho.

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