

**Caracterización según tamaño de los sedimentos de arrastre fluvial en el lecho del río Encañada -
Cajamarca – Perú**

**Characterization according to size of fluvial drag sediments in the bed of the Encañada River - Cajamarca
– Peru**

Luis Vásquez Ramírez^{1*}, Gaspar Méndez Cruz¹, José Longa Álvarez¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1050, C.P. 06003, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia: lvasquez@unc.edu.pe

Resumen

En esta investigación, se abordó el análisis de la variación de la concentración de sedimentos en el lecho del río Encañada, Cajamarca-Perú, mediante la selección y excavación de diez puntos de análisis con sus respectivas calicatas. Se llevaron a cabo procesos tanto en el campo como en el laboratorio de suelos. Inicialmente, se elaboraron calicatas de 0,80 m por 0,80 m por 0,80 m, extrayendo pesos según el diámetro de los sólidos presentes, que abarcaban desde arenas y gravas hasta cantos grandes y pequeños, así como piedras pequeñas. Posteriormente, se tomó muestras de 6 kg de cada calicata para realizar un análisis granulométrico en laboratorio. Los resultados obtenidos indicaron un equilibrio inicial en la variación de sedimentos, desde la calicata 1 con un 27,20% de piedra pequeña, disminuyendo hasta la calicata 6 con el porcentaje mínimo del 2,12% de piedra pequeña. A partir de esta calicata, la concentración aumentó nuevamente, alcanzando su punto máximo en la calicata 9 con un 33,91%, y manteniéndose elevada en la calicata 10 con un 27,55%. Se concluyó que la variación de concentración de sedimentos en el río Encañada no presenta correlación con la altitud. Además, se destacó que el material predominante en el lecho del río fue gravas y arenas, mientras que los cantos pequeños representaron los menores porcentajes de concentración.

Palabras clave: arrastre fluvial, calicata, lecho del río, río La Encañada, sedimento

Abstract

This research addressed the analysis of sediment concentration variation in the bed of the Encañada River, Cajamarca-Peru, through the selection and excavation of ten analysis points with their respective test pits. Processes were carried out both in the field and in the soil laboratory. Initially, test pits measuring 0.80 m by 0.80 m by 0.80 m were constructed, with weights extracted based on the diameter of the present solids, ranging from sands and gravels to large and small pebbles, as well as small stones. Subsequently, 6 kg samples were taken from each test pit for laboratory granulometric analysis. The results indicated an initial equilibrium in sediment variation, starting from test pit 1 with 27.20% of small stones, decreasing to a minimum of 2.12% in test pit 6. From

this point, the concentration increased again, reaching its peak in test pit 9 with 33.91% and remaining elevated in test pit 10 with 27.55%. It was concluded that the variation in sediment concentration in the Encañada River does not show a correlation with altitude. Additionally, it was highlighted that the predominant material in the riverbed was gravels and sands, while small pebbles represented the lowest concentration percentages.

Keywords: river trawl, pit, river bed, La Encañada River, sediment

Introducción

La interacción fluido-sólido que rige los procesos dinámicos en los lechos fluviales, influenciados por el agua y el material del lecho, es crucial para el diseño de elementos de ingeniería en estos entornos. Este estudio se enfoca en la variación de la concentración de sedimentos en el lecho del río Encañada, Cajamarca-Perú, reconociendo la importancia de comprender no solo el caudal de agua, sino también las características del sedimento que actúa como la frontera sólida para el flujo del fluido. Altos niveles de sedimentación, según Macedo (2018), pueden perturbar las características hidráulicas del cauce, afectando la navegación y aumentando el riesgo de inundaciones. La cuantificación del gasto sólido total, esencial para las acciones de control de sedimentación, se basa en la cuantificación de los sólidos transportados en suspensión, aunque esta metodología presenta incertidumbres intrínsecas (Loayza, 1999).

Martín (2007) clasifica el transporte de sedimentos en función del origen y modo de transporte, destacando que el sedimento puede ser de lecho o de lavado y puede transportarse en suspensión o por el fondo. El lecho del río, compuesto por partículas sólidas de diversos diámetros, incluye estratos profundos con partículas de grano fino cohesionadas por fuerzas de cohesión (Ríos, 2004). El análisis granulométrico, que determina el rango de tamaños de partículas presentes en un suelo, es esencial para comprender la gradación del sedimento (Braja, 2014). Espinoza (2014) subraya que las partículas finas se originan en la cuenca, y el movimiento de las partículas está influenciado por el esfuerzo cortante aplicado en el fondo.

La variación en la concentración de sedimentos en el río Encañada se analiza en este trabajo, con un enfoque en la posible correlación entre el diámetro del sedimento y la altitud, así como la cuantificación de cada tipo de sedimento. El objetivo principal es caracterizar los sedimentos en el lecho del río Encañada en Cajamarca. Dada la falta de condiciones de rugosidad necesarias para estimar el flujo volumétrico caudal en canales naturales como el lecho del río Encañada, este estudio se centra en proporcionar información esencial para el diseño de estructuras en estos entornos. Los objetivos específicos incluyen la identificación de puntos estratégicos de extracción de material, la selección de sedimentos según el tamaño de las partículas y la elaboración de curvas granulométricas del sedimento fino.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó el método descriptivo exploratorio con información obtenida de campo a partir de un muestreo por conveniencia. El área de estudio está ubicada en el norte del Perú, región Cajamarca, provincia de Cajamarca y forma parte de la vertiente del Atlántico. La caracterización de los sedimentos de arrastre fluvial en el lecho del río Encañada se desarrolló en cuatro fases:

Primera fase. Identificación y ubicación de la zona de estudio, utilizando imágenes del Google Earth. El área de estudio está ubicada en el norte del Perú, región Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito La Encañada. El río de La Encañada nace en la quebrada de La Toma cerca al lindero con Celendín y desciende hacia el Oeste con el nombre Quinuamayo. Al pasar por Michiquillay, vira al sur y toma recién el nombre de La Encañada; se une con Tambomayo y forma el río La Quispa, que desemboca en el río Namora. Luego de la visita de campo y la identificación del área de estudio se lograron seleccionar 10 puntos en el lecho del río para extraer las muestras, se identificaron como calicata 1 en el distrito de la Encañada a una altitud de 3140 m s.n.m, hasta la calicata 10 ubicada en el distrito de Namora con una altitud de 2760 m s.n.m, según se muestra en la Figura 1.

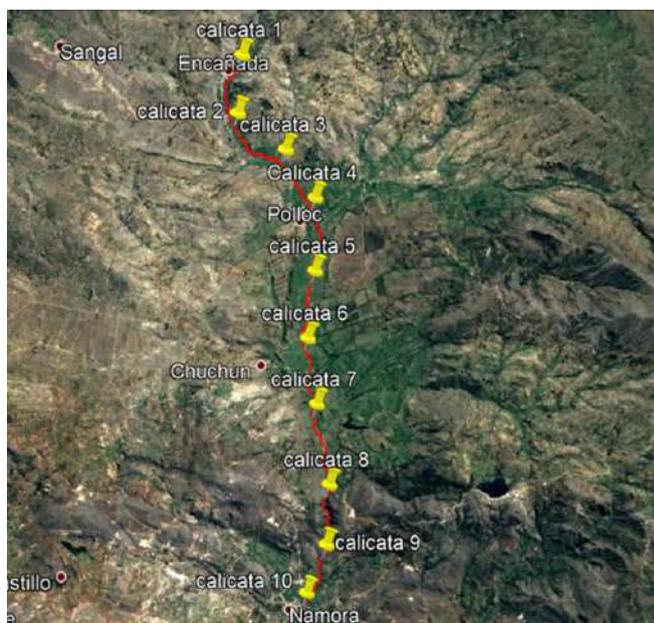


Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos.

Segunda fase. Campo, consistió en realizar el recorrido del tramo del río en las siguientes etapas: primera etapa, se identificó *in situ* la ubicación de cada uno de los puntos de muestreo (calicatas); segunda etapa, se procedió a la excavación de cada una de las calicatas con dimensiones superficiales de 0,60 x 0,60 m y una profundidad de 0.80 m, tercera etapa, se realizó la clasificación del material extraído de las calicatas por diámetro, según la clasificación de los sedimentos por tamaño según American Geophysical Unión (Tabla 1). Luego, se seleccionó al azar una muestra de 6 kilogramos del material con granulometría pequeña para su clasificación en laboratorio.

Tabla 1. Clasificación de los sedimentos por tamaño según American Geophysical Unión

Grupo	Clase	Tamaño (mm)	
Piedras (guijarros)	Muy grande	2,048	a 4,096
	Grande	1,024	a 2,048
	Mediana	512	a 1,024
	Pequeña	256	a 512
Cantos (cascajo)	Grande	128	a 256
	Pequeña	64	a 128
Grava	Muy gruesa	32	a 64
	Gruesa	16	a 32
	Mediana	8	a 16
	Fina	4	a 8
	Muy fina	2	a 4
Arena	Muy gruesa	1.000	a 2.000
	Gruesa	0.500	a 1.000
	Mediana	0.250	a 0.500
	Fina	0.125	a 0.250
	Muy fina	0.062	a 0.125
Limo	Gruesa	0.031	a 0.062
	Mediana	0.016	a 0.031
	Fina	0.008	a 0.016
	Muy fina	0.004	a 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002	a 0.004
	Mediana	0.001	a 0.002
	Fina	0.0005	a 0.001
	Muy fina	0.00025	a 0.0005

Fuente: García y Maza (1998). Manual de Ingeniería de los Ríos. Origen y Propiedades de los Sedimentos

Tercera fase. Laboratorio, utilizando la muestra de 6 kg seleccionada en campo para cada uno de los puntos de ensayo, se secó el material de cada muestra por un tiempo de 48 horas a temperatura ambiente, para luego de secado el material proceder a tamizarlo por las diferentes mallas N° 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4, 10, 20, 30, 40, 60, 100 y 200, para las aberturas según la Tabla 2.

Tabla 2. Abertura de tamices estándar según ASTM

TAMICES SERIE ASTM											
Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura
5"	127.00	1 1/2"	38.10	3/8"	9.53	12	1.70	60	0.250	325	0.041
4 1/4"	107.70	1 1/4"	31.75	5/16"	7.94	14	1.40	70	0.212	400	0.035
4"	101.60	1.06"	26.92	0.265"	6.73	16	1.18	80	0.180	450	0.031
3 1/2"	88.90	1"	25.40	1/4"	6.35	18	1.00	100	0.150	500	0.028
1 3/4"	82.55	7/8"	22.23	4	4.75	20	0.85	120	0.125	635	0.021
3"	76.20	3/4"	19.05	5	4.00	25	0.71	140	0.106		
2 1/2"	63.50	5/8"	15.88	6	3.35	30	0.60	170	0.090		
2 1/2"	53.85	0.53"	13.46	7	2.80	35	0.50	200	0.075		
2"	50.80	1/2"	12.70	8	2.36	40	0.43	230	0.065		
1 3/4"	44.45	7/16"	11.11	10	2.00	50	0.36	270	0.053		

Fuente: American Society for Testing and Materials.

Cuarta fase. Gabinete, en esta etapa del trabajo se analizó toda la información obtenida de la granulometría tanto en campo como en laboratorio, construyéndose para cada punto de ensayo su curva granulométrica y su caracterización correspondiente.

Resultados y discusión

Puesto que el propósito de la presente investigación fue analizar la variación de la concentración de sedimentos en lecho del río Encañada en el recorrido del río desde el distrito de La Encañada y el distrito de Namora, se verificó la existencia de sedimentos: piedras pequeñas, cantos grandes y pequeños, así como gravas y arena. Las concentraciones de piedras pequeñas desde la calicata 1 (la de mayor altitud) hasta la 10 (la de menor altitud), no muestran una relación directa ni inversa entre el sedimento y la altitud (Figura 2).

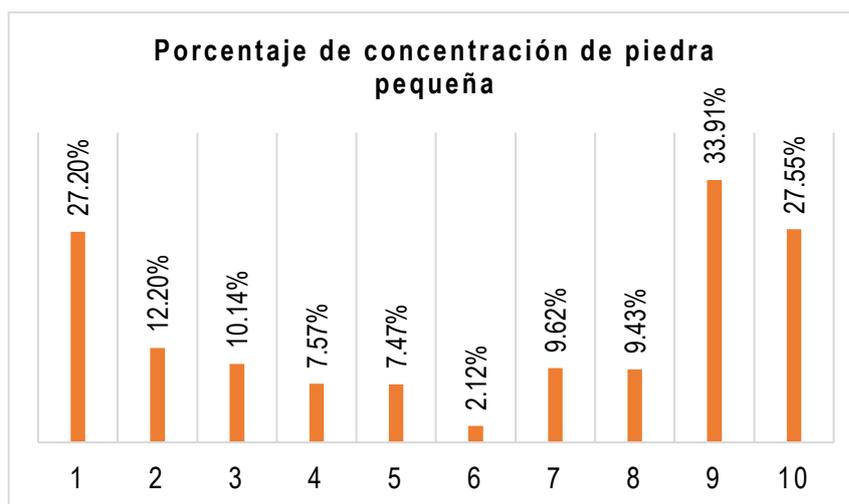


Figura 2. Porcentaje de concentración granulométrica de piedras pequeñas (diámetros entre 25,6 y 51,2 cm)

Las concentraciones de cantos grandes desde la calicata 1 (la de mayor altitud) hasta la 10 (la de menor altitud), no mostraron una relación directa ni inversa entre el sedimento y la altitud (Figura 3).

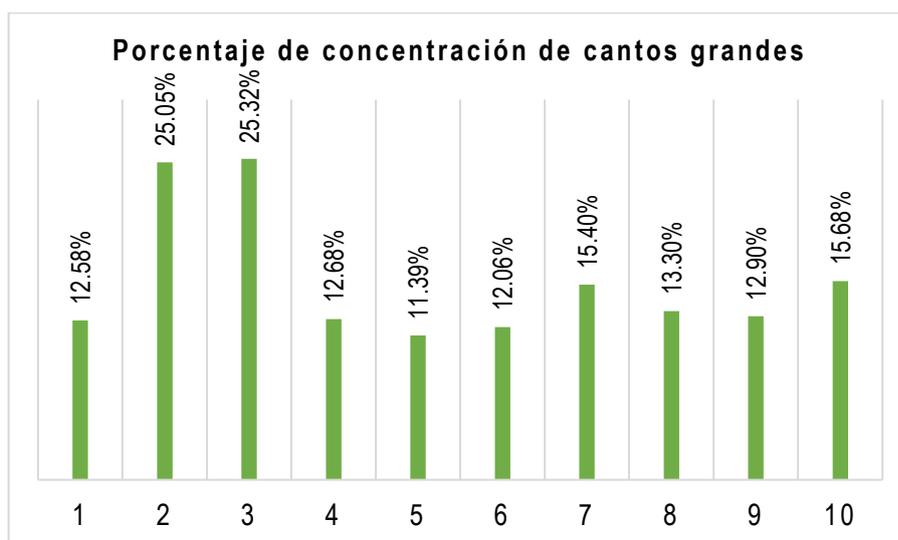


Figura 3. Porcentaje de concentración granulométrica de cantos grandes (diámetros entre 12,8 y 25,6 cm)

Las concentraciones de cantos pequeños desde la calicata 1 (la de mayor altitud) hasta la 10 (la de menor altitud), no muestran una relación directa ni inversa entre el sedimento y la altitud (Figura 4).

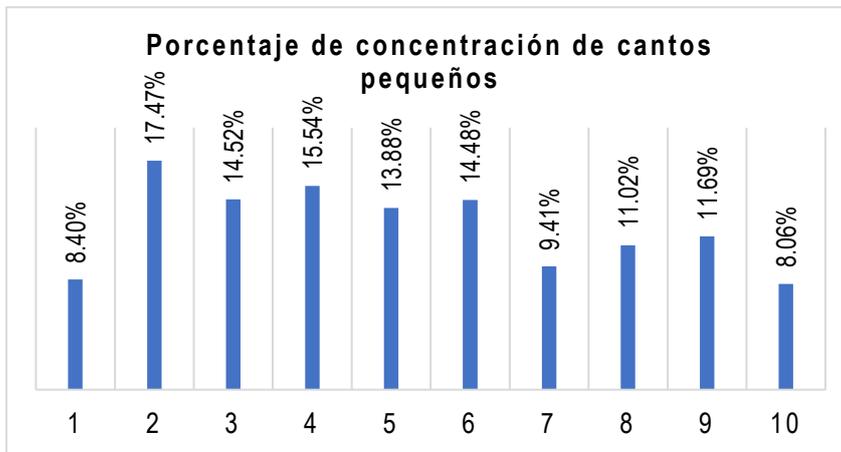


Figura 4. Porcentaje de concentración granulométrica de cantos pequeños (diámetros entre 6,4 y 12,8 cm)

Las concentraciones de gravas y arenas desde la calicata 1 (la de mayor altitud) hasta la 10 (la de menor altitud), no muestran una relación directa ni inversa entre el sedimento y la altitud (Figura 5).

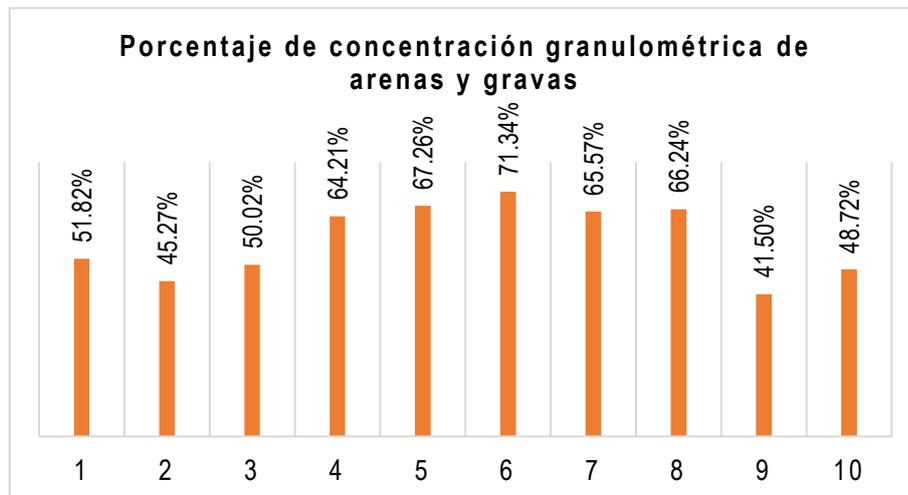


Figura 5. Porcentaje de concentración granulométrica de Gravas y arenas (diámetros < 6,4 cm)

La distribución de los sedimentos permitió visualizar y comparar en forma clara la variabilidad de los sedimentos. Se observó que el porcentaje predominante del lecho del río La Encañada, fue el de arena, mientras que los cantos pequeños representan los menores porcentajes de concentración. La Calicata 6 (71,34%) es la que contiene mayor porcentaje de arena con respecto a las demás calicatas, mientras que la Calicata 2 (17,47%) es la que contiene mayor porcentaje de cantos pequeños con respecto a las demás calicatas, la Calicata 3 (25,32%), es la que contiene mayor porcentaje de cantos grandes y finalmente la Calicata 9 (33,91%), es la que contiene mayor

porcentaje de piedra pequeña con respecto a las demás calicatas a lo largo del tramo de estudio en el río La encañada en los 10 km de recorrido (Figura 6).

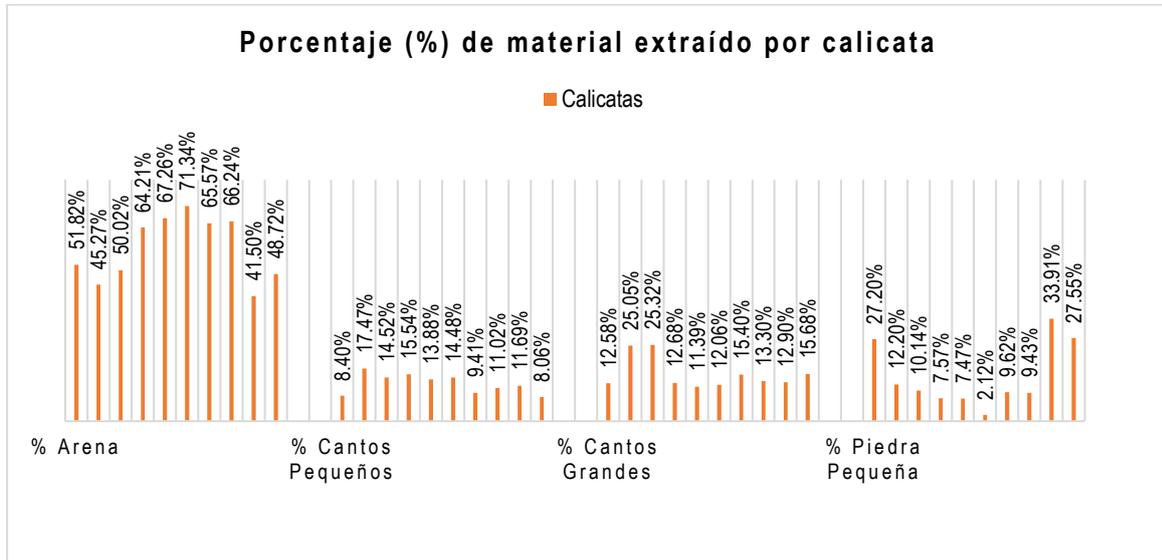


Figura 6. Porcentaje de concentración granulométrica de sedimentos

Una vez realizados los análisis granulométricos en laboratorio, se obtuvieron gráficas para cada una de las muestras. Al observar estas gráficas en conjunto, pudo notarse que las curvas que representan la granulometría del lecho del Río La Encañada, son típicas de un ambiente fluvial, debido a la relación de porcentajes de las diferentes tallas. Las curvas granulométricas representativas para las diez muestras – dentro de las que se incluyen: Calicata 1, Calicata 2, Calicata 3, Calicata 4, Calicata 5, Calicata 6, Calicata 7, Calicata 8, Calicata 9, Calicata 10. Según la Figura 7 permite afirmar que existe un comportamiento similar para los diez puntos de estudio con una doble curvatura que se repite en todas las muestras.

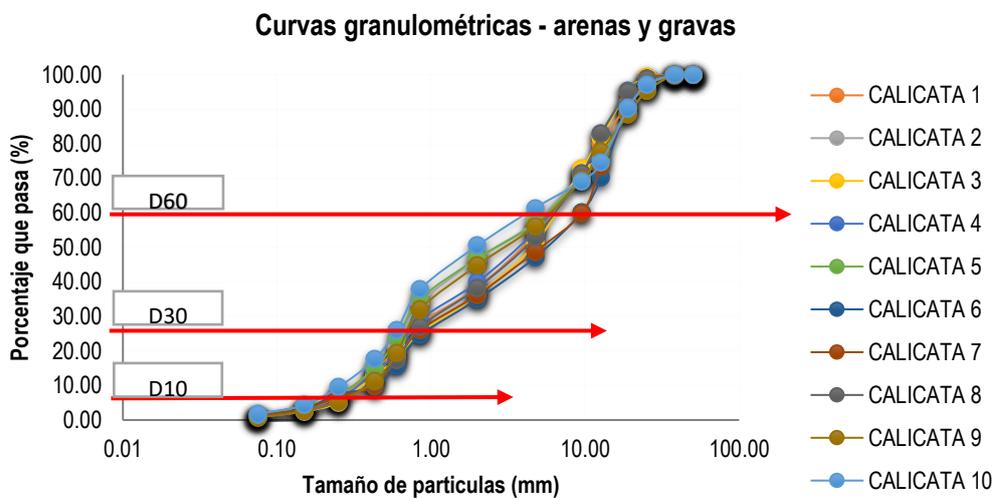


Figura 7. Curvas Granulométricas características del Río La Encañada

Las curvas generadas para las cuencas media y baja del río ilustran la variación gradual de altitudes, observándose que, en la cuenca media, las altitudes asociadas son inferiores a las presentes en entornos accidentados. En el gráfico, se distinguen dos declinaciones: una en la parte inferior, reflejada en una disminución relativa de los porcentajes correspondientes a tallas más pequeñas (arenas finas), y otra en la parte superior, traduciéndose en una disminución relativa de tamaños mayores. Una curva característica que representa las últimas cuatro muestras, especialmente las muestras 9 y 10, sugiere una disposición y orden de partículas granulares.

Los resultados concuerdan con hallazgos en otros tipos de ríos, como los presentados por Vericat et al. (2006), quienes concluyeron que la granulometría de los sedimentos varía considerablemente en tiempo y espacio. Esto refleja tanto la marcada actividad sedimentaria en el lecho del río como el papel determinante de las crecidas en su movilización y transporte aguas abajo.

Conclusiones

En este estudio, se identificaron 10 puntos de análisis a lo largo del río Encañada mediante calicatas, y se clasificaron los sedimentos según la American Geophysical Union. La evaluación de la granulometría de gravas y arenas reveló predominancia de un suelo bien gradado y de grano grueso, característico de entornos fluviales. Al analizar la variación de concentración de sedimentos en el río, se concluye que no existe correlación entre la concentración y la altitud, refutando la idea de que a mayor altitud aumenta la concentración de sedimentos de mayor diámetro. El porcentaje predominante en el lecho del río Encañada fue de arena, mientras que los cantos pequeños representaron los menores porcentajes de concentración.

Agradecimiento

Los autores agradecen a los alumnos de la asignatura de Hidrología de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, gracias a su empeño y responsabilidad se logró terminar este trabajo.

Referencias

Braja, D. 2014. Fundamentos de Ingeniería geotécnica. Cengage Learning. México. Pág. 1184.

Espinoza, J. 2014. Procesos de transporte de sedimentos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en: <https://www.gob.mx/imta/articulos/procesos-de-transporte-de-sedimentos>

García, M., Maza, J.A. 1998. Origen y Propiedades de los Sedimentos. Manual de Ingeniería de los Ríos. Instituto de Ingeniería UNAM. México. Pág. 111.

Loayza, R.D. 1999. Estudio inicial de aporte de sedimentos del río Jequetepeque al embalse Gallito Ciego. Condesan CAJ, 13/99.

Macedo, L. 2018. Caracterización Hidráulica fluvial en aguas del río Nanay (18M 691382-E 9589878 AL 18M 694652-E9590711), para realizar la línea base; Loreto-Perú, 2017. Tesis. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Disponible en: <https://repositorio.unapikitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5330>

Martín J.P. 2007. Ingeniería de ríos. Ediciones UPC. España. Pág. 381.

Rios, J.L. 2004. Influencia del proceso de acorazamiento en el arrastre de sedimentos. Tesis. Universidad de Piura. Perú. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/6a8ae20d-e782-4371-98a0-47a58e6c74a8>

Vericat, D., García, C., Batalla, R.J. 2006. Variación temporales y espaciales en la granulometría del tramo bajo del Ebro. Rev. C. & G. 48: 47-60.