

## **Cambio de elevación por erosión del lecho de los ríos Grande, Porcón y Mashcón en tramos impactados por captaciones derivadoras - Cajamarca**

### **Elevation change due to erosion of the bed of the Grande, Porcón and Mashcón rivers in sections impacted by diversion catchments - Cajamarca**

José Francisco Huamán Vidaurre<sup>1\*</sup>, Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado<sup>1</sup>

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

\*Autor de correspondencia: [fhuaman@unc.edu.pe](mailto:fhuaman@unc.edu.pe)

#### **Resumen**

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el cambio de elevación, por erosión hídrica, del lecho de los ríos Grande, Porcón y Mashcón en tramos impactados por captaciones derivadoras de Cajamarca, considerando un tiempo transcurrido desde su construcción hasta el año 2023, año en el cual se realizó el presente estudio. Se seleccionaron cuatro captaciones derivadoras tal que aguas abajo de las mismas el descenso del lecho del río es muy notorio. Mediante trabajo de campo y gabinete se obtuvo información altimétrica y pendiente longitudinal de dos tramos de cada río, aguas arriba y aguas abajo de cada captación, así como los desniveles entre la poza disipadora y el lecho actual. Con el seccionamiento del cauce cada 100 m en una longitud de 1,0 km, identificando la ribera, previo al descenso del lecho se estimó el volumen erosionado por acción hídrica del río. La pendiente longitudinal de los ríos, aguas arriba de las captaciones Huacariz, El Ingenio, Tres Molinos y Río Porcón fueron de 0,023 m/m, 0,019 m/m, 0,031 m/m y 0,033 m/m, respectivamente, y aguas abajo de las mismas de 0,0076 m/m, 0,0072 m/m, 0,0170 m/m y 0,0321 m/m, respectivamente, con lo cual se corrobora que la degradación aguas abajo de las captaciones ocasiona disminución de la pendiente. Por otra parte, se estimaron los volúmenes de las cuñas de agradación (aguas arriba del barrage) y de las cuñas de degradación (aguas abajo de la poza disipadora de energía); siendo de 664 m<sup>3</sup> (captación Huacariz), 1965 m<sup>3</sup> (captación El Ingenio), 495 m<sup>3</sup> (captación Tres Molinos) y 798 m<sup>3</sup> (captación Río Porcón), y de 25 274,0 m<sup>3</sup> (captación Huacariz), 19 965 m<sup>3</sup> (captación El Ingenio), 14 892,0 m<sup>3</sup> (captación Tres Molinos) y 35 885,0 m<sup>3</sup> (captación Río Porcón). El desnivel entre la poza disipadora de energía y el lecho del río, inmediatamente aguas abajo, resultó de 11,50 m (captación Huacariz), 15,40 m (captación El Ingenio), 19,30 m (captación Tres Molinos) y 32,10 m (captación Río Porcón). Dichos descensos han ocurrido en forma gradual en un tiempo de 35 años.

**Palabras clave:** erosión hídrica en ríos, captación derivadora, desnivel por erosión

#### **Abstract**

The objective of this investigation was to determine the change in elevation, due to water erosion, of the bed of the Grande, Porcón and Mashcón rivers in sections impacted by catchments derived from Cajamarca, considering a time elapsed from its construction until the year 2023, the year in which the present study was carried out. Four

diversion catchments were selected such that downstream of them the descent of the river bed is very noticeable. Through field and office work, altimetric information and longitudinal slope were obtained for two sections of each river, upstream and downstream of each catchment, as well as the differences in level between the dissipating pool and the current bed. By sectioning the channel every 100 m over a length of 1.0 km, identifying the bank, prior to lowering the bed, the volume eroded by the river's water action was estimated. The longitudinal slope of the rivers, upstream of the Huacariz, El Ingenio, Tres Molinos and Río Porcón catchments were 0.023 m/m, 0.019 m/m, 0.031 m/m and 0.033 m/m, respectively, and downstream of the same of 0.0076 m/m, 0.0072 m/m, 0.0170 m/m and 0.0321 m/m, respectively, which corroborates that the degradation downstream of the catchments causes a decrease in the slope. On the other hand, the volumes of the aggradation wedges (upstream of the barrage) and the degradation wedges (downstream of the energy dissipating pool) were estimated; being 664 m<sup>3</sup> (Huacariz catchment), 1965 m<sup>3</sup> (El Ingenio catchment), 495 m<sup>3</sup> (Tres Molinos catchment) and 798 m<sup>3</sup> (Río Porcón catchment), and 25 274.0 m<sup>3</sup> (Huacariz catchment), 19 965 m<sup>3</sup> (El Ingenio catchment), 14 892.0 m<sup>3</sup> (Tres Molinos catchment) and 35885.0 m<sup>3</sup> (Río Porcón catchment). The difference in level between the energy dissipation pool and the river bed, immediately downstream, was 11.50 m (Huacariz catchment), 15.40 m (El Ingenio catchment), 19.30 m (Tres Molinos catchment) and 32.10 m (Río Porcón catchment). These declines have occurred gradually over a period of 35 years.

**Key words:** Water erosion in rivers, diversion catchment, slope due to erosion

## Introducción

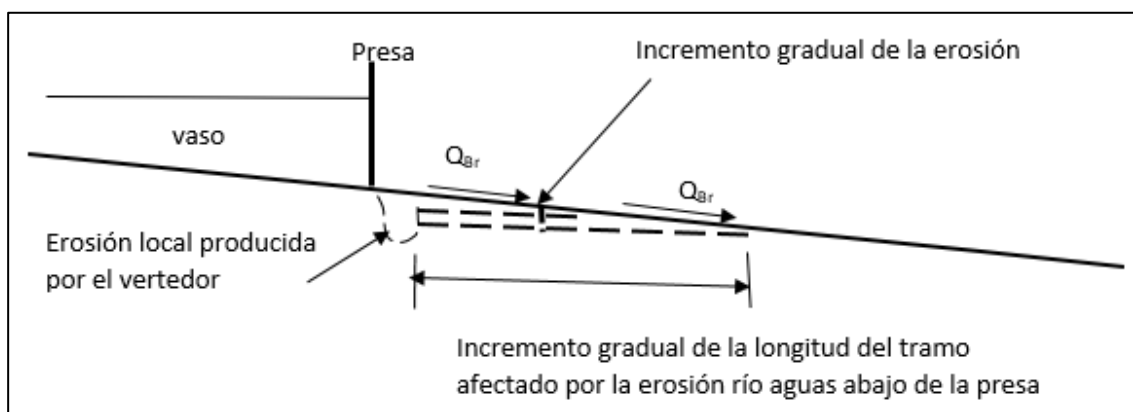
El aprovechamiento del agua proveniente de los ríos es tan antiguo como el hombre, la construcción de captaciones derivadoras sigue siendo necesario para el desarrollo de la agricultura y dotación de agua poblacional en las cuencas del Mashcón y del Chonta de Cajamarca (Huamán y Rodríguez, 2023).

Es muy conocido el problema de erosión aguas abajo de las presas, similar a lo que ocurre en captaciones derivadoras de hormigón que tienen un barrage transversal fijo en todo el ancho del río; lo cual, además de reducir notablemente la eficiencia del bocal debido a la colmatación altera la morfología del cauce, tanto aguas arriba como aguas abajo de la obra hidráulica (Martínez, 2001; Rocha 1998; Huamán 2016) observándose en algunos casos los efectos en la cimentación de puentes y conductos de cruce ubicados aguas abajo de dichas obras, tal como en los ríos de las cuencas del Mashcón y del Chonta (Huamán y Rodríguez, 2023).

En la erosión a largo plazo interesa los desequilibrios causados por el hombre en el río. Si las acciones son antiguas y el proceso está en curso, pueden existir signos de los cambios y asimismo algunos datos históricos pueden darnos información relevante sobre la magnitud y ritmo de la erosión. Estos datos son a menudo más valiosos que cualquier otra clase de estimación. Si la erosión en el río la causa la construcción de una presa aguas arriba, el proceso de erosión es lento y asintótico en el tiempo. Afecta a una longitud de un orden de magnitud de decenas de kilómetros con erosiones del orden de metros en un orden de magnitud de decenas de años (Martín, 2002; Martínez, 2001)

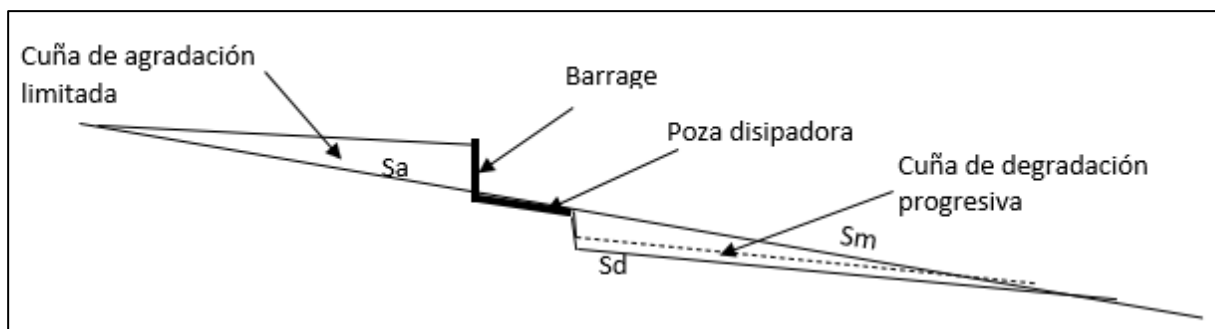
Se produce socavación aguas abajo de embalses, con descargas casi libres de sedimentos, ocasionando que las partículas que son erosionadas y transportadas de las primeras secciones cercanas a la presa no sean reemplazadas por otras que provienen de aguas arriba, ello ocurre en el primer tramo donde la erosión es mayor en las primeras secciones y disminuye paulatinamente a medida que se alejan hacia aguas abajo. Conforme las descargas continúan, el tramo erosionado se alarga debido a que las descargas del río remueven y transportan el sedimento del fondo. Cuando el material del fondo contiene boleos tiende a acorazarse. Se observa también que aguas abajo de la sección no alterada, el material del fondo y la pendiente varían con respecto a su estado original como resultado de sus cambios morfológicos producidos por las modificaciones del caudal dominante (Apacla, 2014; Ochoa, 2011; Farias et al., 2008)

En las cuencas del Mashcón y del Chonta de Cajamarca existen decenas de captaciones derivadoras emplazadas en ríos en cuyo lecho predomina la grava; y en algunas de ellas se observa en mayor grado el descenso del lecho del río, aguas abajo de tales obras hidráulicas, debido a la erosión hídrica, lo cual afecta al suelo de cimentación de otras estructuras (tal como puentes) (Huamán y Rodríguez, 2023).



**Figura 1.** Esquema del proceso de erosión aguas abajo de las presas (adaptado de Apacla, 2014)

Antes del emplazamiento de las captaciones derivadoras, los ríos han tenido una pendiente longitudinal promedio  $S_m$ , la cual se modificó con el tiempo por la presencia de dichas obras, tanto aguas arriba como aguas abajo. Desde que se construyeron dichas obras se ha manifestado gradualmente la agradación, aguas arriba del barrage, y la degradación aguas abajo de la poza disipadora de energía (López, 2014), cuyos volúmenes de agradación y degradación adoptan forma de cuñas crecientes a través del tiempo, de tamaño limitado la de aguas arriba y de mayor tamaño la de aguas abajo aumentando progresivamente en profundidad y en longitud. Existen captaciones en las cuales la colmatación ha llegado hasta la corona del barrage; sin embargo, la erosión aguas abajo aún continúa (Huamán y Rodríguez, 2023).



**Figura 2.** Cambio de elevación del lecho del río por agradación aguas arriba y degradación aguas abajo de una captación (Huamán y Rodríguez, 2023)

### **Materiales y métodos**

Se seleccionaron cuatro captaciones derivadoras de agua que han generado un impacto en la morfología de los cauces en los que están emplazadas. La cota de referencia se registró en la poza disipadora de cada captación, a partir de la cual se midió la profundidad del cauce, aguas abajo, en un tramo de 1,0 km. Como referencia, se tomaron las riberas del río donde fue posible identificarlas y que no han sido profundamente afectadas por erosión. A partir de estas riberas, se midieron las secciones socavadas.

Las captaciones seleccionadas, junto con el nombre del río en el que están ubicadas, son las siguientes: Huacariz (río Mashcón), El Ingenio (río Mashcón), Tres Molinos (río Grande, Mashcón) y Río Porcón (río Porcón).

Las captaciones en estudio fueron construidas hace aproximadamente 35 años y, durante este tiempo, han experimentado reparaciones tanto en el barraje como en las pozas disipadoras de energía, o incluso han sido reconstruidas. El colapso de estas obras reparadas se debió a la colmatación aguas arriba y la socavación aguas abajo de las pozas disipadoras de energía.

En cuanto a la pendiente del río aguas abajo de la poza disipadora, se tomó como referencia la cota de la poza disipadora de energía y, a partir de ella, se estimó la pendiente longitudinal utilizando los datos de un levantamiento topográfico, en un tramo de 1,0 km. Para el cálculo de la pendiente del cauce, se aplicó la fórmula de Taylor y Schwarz (Villón, 2002), considerando tramos que no han sido severamente afectados por la erosión, ubicados aguas arriba de los puentes o de otras captaciones cercanas.

En lo que respecta al volumen de erosión aguas abajo de la captación, con base en la información obtenida del levantamiento topográfico del lecho del río en un tramo de 1,0 km aguas abajo de la poza disipadora de la captación, se elaboraron planos del perfil longitudinal y cortes de la sección del cauce, cada 20 metros. Las secciones transversales en dichos planos muestran la configuración de las antiguas riberas y el fondo actual. A partir de estos planos, se obtuvieron los datos necesarios para estimar el área en cada sección transversal. Para cada tramo de 20 m, se obtuvo el promedio de dos áreas consecutivas y, multiplicando el área promedio por la longitud, se estimó el volumen erosionado en cada tramo. El volumen total corresponde a la suma de los volúmenes parciales.

Respecto al volumen de colmatación aguas arriba del barrage de la captación, se observó que en esa área se ha producido una retención de sedimentos que han colmatado un tramo del río. El volumen de colmatación se determinó con base en la pendiente longitudinal del río, antes del emplazamiento de la captación, y la pendiente del lecho colmatado. La longitud del tramo colmatado se determinó mediante el criterio del cambio de pendiente del lecho del río, ya que la pendiente original es mayor que la pendiente del tramo colmatado.

Finalmente, en cuanto al desnivel entre la poza disipadora y el lecho del río, se observó que las captaciones cuentan con más de una poza disipadora de energía dispuestas de manera consecutiva para reducir la socavación del río aguas abajo, pero sin éxito. Según la observación en campo, la primera poza disipadora de energía se construyó en el lecho del río antes de que se produjera la erosión del lecho. Se registró en campo la cota en el extremo aguas abajo de la poza y la cota del lecho actual del río. Este desnivel o diferencia de cotas es muy notorio y ha ocurrido durante los 35 años transcurridos desde la construcción de las captaciones. Las medidas verticales se tomaron entre la cota del extremo de la poza disipadora de energía y el lecho del cauce, inmediatamente aguas abajo.



**Figura 2.** Erosión en el río Grande, aguas abajo de la captación Tres Molinos

## Resultados y discusión

**Tabla 1.** Elevación del extremo de aguas abajo de la poza disipadora de energía y del lecho del río a 1,0 km aguas abajo

Captación	Río	Elevación de la poza disipadora de la captación (m s.n.m.)	Elevación del lecho del río a 1,00 km aguas abajo de la poza disipadora (m s.n.m.)
Huacariz	Mashcón	2705,50	2694,00
El Ingenio	Mashcón	2725,50	2710,10
Tres Molinos	Grande	2792,80	( *)2773,50
Río Porcón	Porcón	2849,60	2817,50

( \*) 0,89 km aguas abajo de la poza disipadora, unión con el río Porcón.

**Tabla 2.** Pendiente longitudinal del lecho de los ríos, aguas arriba y aguas abajo de cuatro captaciones

Captación	Río	Pendiente del cauce previo al emplazamiento de la captación (m/m)	Pendiente del cauce erosionado, aguas abajo de la captación (m/m)
Huacariz	Mashcón	0,023	0,0076
El Ingenio	Mashcón	0,019	0,0072
Tres Molinos	Grande	0,031	0,0170
Río Porcón	Porcón	0,033	(*) 0,0321

(\*) Aguas abajo existe otra captación a 45 m

**Tabla 3.** Desnivel entre poza disipadora y lecho del río, inmediatamente aguas abajo

Captación	Río	Desnivel entre la poza disipadora y el lecho del río, inmediatamente aguas abajo (m)
Huacariz	Mashcón	4,0
El Ingenio	Mashcón	3,8
Tres Molinos	Grande	3,8
Río Porcón	Porcón	3,3 (***)

(\*\*\*) Desnivel entre la primera poza disipadora de energía de la captación Río Porcón y el lecho del río inmediatamente aguas abajo de la poza de la captación ubicada a 45 m (\*)

**Tabla 4.** Volúmenes de colmatación y de socavación en el río, aguas arriba y aguas debajo de cuatro captaciones

Captación	Río	Volumen de colmatación aguas arriba de la captación (m <sup>3</sup> )	Volumen de erosión a 1.0 km aguas abajo de la captación (m <sup>3</sup> )
Huacariz	Mashcón	664,00	25 274,0
El Ingenio	Mashcón	1965,00	19 965,0
Tres Molinos	Grande	495,00	(**) 14 892,0
Río Porcón	Porcón	798,00	(*) 35 885,0

(\*) Aguas abajo existe otra captación a 45 m

(\*\*) Longitud aguas abajo hasta 800 m donde se une con el río Grande

La pendiente del cauce del río, aguas arriba de cada una de las cuatro captaciones, en un tramo no afectado por la colmatación (denominado pendiente del cauce previo al emplazamiento de la captación), es mayor que la pendiente aguas abajo, lo cual concuerda con el análisis de equilibrio según Lane, señalado por Martínez (2001). Este fenómeno es consistente con las observaciones realizadas en los ríos estudiados, como se muestra en la tabla 2.

En cuanto al volumen de colmatación aguas arriba del barrage, este depende de varios factores, como la altura del barrage, el lecho inicial del río antes de la construcción de la obra, y el lecho actual del tramo colmatado. Este proceso es similar al que ocurre en las presas, donde los sólidos de arrastre son retenidos en función de estas características (Huamán & Rodríguez, 2023). Los resultados específicos para cada río estudiado se presentan en la tabla 4.

Respecto al descenso del lecho del río aguas abajo de la poza disipadora de energía, se observa que, tras la construcción de las cuatro captaciones hace 35 años, se ha producido socavación tanto local como general en el

lecho del río. La poza disipadora de energía, construida cuando el lecho del río no estaba afectado por erosión, se ha tomado como referencia para medir el descenso del lecho del río. Los datos de campo muestran la erosión progresiva en esta área, un fenómeno similar al que ocurre aguas abajo de las presas (Apacla, 2024). Los resultados de este análisis se presentan en las tablas 1, 2 y 3.

Finalmente, en cuanto al volumen de erosión aguas abajo de la poza disipadora, se ha observado una erosión continua a lo largo del cauce desde la construcción de las captaciones. En tres de las captaciones, en un tramo de 1,0 km, el volumen erosionado fue de entre 19 965 m<sup>3</sup> y 35 885 m<sup>3</sup>, mientras que, en la cuarta captación, en un tramo de 0,8 km, el volumen erosionado fue de 14 892 m<sup>3</sup>. Estos datos pueden consultarse en la tabla 4.

## Conclusiones

- a) La pendiente longitudinal del lecho del río, en un tramo de 1,0 km, aguas abajo de la poza disipadora de energía, de las captaciones derivadoras Huacariz (río Mashcón), El Ingenio (río Mashcón), Tres Molinos (río Grande) y Río Porcón (río Porcón), es de 0,0076 m/m, 0,0072 m/m, 0,0170 m/m y 0,0321 m/m, respectivamente; siendo menor en todos los casos que la pendiente aguas arriba del barrage de 0,023 m/m, 0,019 m/m, 0,031 m/m y 0,033 m/m.
- b) Aguas arriba del barrage se produjo una acumulación de sedimentos por transporte, cuyos volúmenes son: 664 m<sup>3</sup> (captación Huacariz), 1965 m<sup>3</sup> (captación El Ingenio), 495 m<sup>3</sup> (captación Tres Molinos) y 798 m<sup>3</sup> (captación Río Porcón).
- c) El descenso del lecho del río, inmediatamente aguas abajo de la primera poza disipadora de energía es de: 4,0 m (captación Huacariz), 3,8 m (captación El Ingenio), 3,8 m (captación Tres Molinos) y 3,3 m (captación Río Porcón). El descenso del lecho del río, aguas abajo de la poza disipadora de energía, en un tramo de 1,0 km es de : 11,50 m (captación Huacariz), 15,40 m (captación El Ingenio), 19,30 m (captación Tres Molinos) y 32,10 m (captación Río Porcón). Dichos descensos han ocurrido en forma gradual en un tiempo de 35 años, apreciándose que aguas abajo de las captaciones el descenso del lecho de los ríos está en progreso.
- d) El volumen erosionado del lecho del río, en una longitud de 1 km, aguas abajo de las cuatro captaciones es : 25 274,0 m<sup>3</sup> (captación Huacariz), 19 965 m<sup>3</sup> (captación El Ingenio), 14 892,0 m<sup>3</sup> (captación Tres Molinos) y 35 885,0 m<sup>3</sup> (captación Río Porcón).

## Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Cajamarca por el apoyo a la docencia para realizar la presente investigación tecnológica que servirá como base para otros estudios.

## Referencias

Apacla, R. (2014). Hidráulica fluvial. Fondo Editorial-UNALM. Lima, Perú.

Farias, H., et al. (2008). Erosión general en ríos aluviales. Ingeniería del Agua. <http://doi.org/10.4995/ia.2008.2930>

Guevara, M. (2016). Socavación en puentes: Teoría y práctica. Lemoine Editores, Universidad del Cauca. Bogotá, Colombia.

López, J. (2014). Respuesta morfodinámica a la construcción de presas de retención de sedimentos en ríos de montaña. Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat. Extraído de <https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023>

Martín Vide, J. (2002). Ingeniería de ríos. Ediciones de la Universidad Nacional de Catalunya. Barcelona, España.

Martínez, E. (2001). Hidráulica fluvial. Ediciones Técnicas y Científicas BELLISCO. Madrid, España.

Maza, J. (n.d.). Erosión aguas abajo de presas mediante ecuaciones de estabilidad. Academia de Ingeniería de México. Extraído de <https://es.slideshare.net/AcademiaDelIngenieriaMx/erosin-aguas-abajo-de-presas-mediante-ecuaciones-de-estabilidad> el 13 de julio de 2023.

Mejía, J. (2017). Transporte de sedimentos en ríos aluviales. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.

Ochoa, T. (2011). Hidráulica de ríos y procesos morfológicos. Ecoe Ediciones. Colombia.

Villón, M. (2002). Hidrología (2da ed.). Editorial Villón. Lima, Perú.