

Diseño Preliminar de una Estructura de Protección Ribereña mediante Gaviones para Mitigar el Peligro de Inundación del Río Hatun Mayu en el Centro Poblado de Quechcap, Huaraz

Preliminary Design of a Gabion Riverbank Protection Structure to Mitigate Flood Hazard of the Hatun Mayu River in the Quechcap Populated Center, Huaraz

José Augusto Coral González¹[0009-0007-0271-7856], Ciro Sergio Bedia Guillén²[0000-0001-9990-2722], Raúl Neil Ramírez Rondán³[0000-0002-5788-472X], Elencio Melchor Mejía Oncoy⁴[0000-0002-1860-6874], Carlos Hugo Olaza Henostroza⁵[0000-0002-5385-8508]

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) - Maestrante en Geotecnia - Perú, jose.coral1@unmsm.edu.pe

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) - Perú, cbediag@unmsm.edu.pe

³ Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) - Perú, rramirezo@unasam.edu.pe

⁴ Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) - Perú, emejjiao@unasam.edu.pe

⁵ Universidad Nacional Santiago de Mayolo (UNASAM) - Perú, colazah@unasam.edu.pe

Cómo citar :

Diseño Preliminar de una Estructura de Protección Ribereña mediante Gaviones para Mitigar el Peligro de Inundación del Río Hatun Mayu en el Centro Poblado de Quechcap, Huaraz: Preliminary Design of a Gabion Riverbank Protection Structure to Mitigate Flood Hazard of the Hatun Mayu River in the Quechcap Populated Center, Huaraz José Augusto Coral Gonzalez. (2026). Technology Rain Journal, 5(2).
<https://doi.org/10.55204/trj.v5i2.e159>

Recibido: 23 de julio-2026

Aceptado: 01 de octubre-2026

Publicado: 07 de octubre-2026

Technology Rain Journal
ISSN: 2953-464X

Resumen. Los eventos hidrometeorológicos extremos, intensificados por el cambio climático y el fenómeno El Niño, han incrementado las inundaciones en el Perú. El centro poblado de Quechcap, ubicado en la margen izquierda del río Hatun Mayu, es vulnerable al incremento del caudal durante las crecidas. El objetivo fue desarrollar el diseño preliminar de un muro de gaviones como medida de protección ribereña para mitigar el peligro de inundación y erosión fluvial mediante la evaluación de parámetros hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos. El estudio fue de tipo aplicado, de nivel descriptivo y de diseño no experimental. Con los registros de precipitación máxima de la estación Recuay (1964-2013), el estudio hidrológico de referencia procesado en HEC-HMS 4.9 reportó 619.80 m³/s para un periodo de retorno de 100 años; para el dimensionamiento preliminar se adoptó 620 m³/s por redondeo. Para el análisis hidráulico preliminar se consideraron un tirante máximo de 2.95 m, una velocidad media de 2.50 m/s y un esfuerzo cortante de 126 N/m², valores cuya confirmación requiere geometría y condiciones de frontera específicas del tramo Quechcap. Para la estabilidad preliminar se adoptaron un ángulo de fricción interna de 26.12° y un peso específico de 18.38 kN/m³ a partir de la información técnica disponible. La socavación general estimada fue de 0.30 m y se adoptó una cimentación de 0.65 m para un muro escalonado de cuatro niveles, 4.20 m de altura y 3.00 m de base, con un borde libre de 0.60 m. El análisis en GAWAC 3.1 obtuvo factores de seguridad de 4.64 al deslizamiento, 14.56 al vuelco y 1.50 de estabilidad global. Los resultados sustentan una alternativa preliminar de protección ribereña, sujeta a verificaciones específicas de socavación local, condición sísmica, hidráulica y geotécnica antes de su implementación.

Palabras Clave: Río Hatun Mayu, Muro de Gaviones, Modelamiento Hidráulico, Mecánica de Suelos, Factor de Seguridad.

Abstract: Extreme hydrometeorological events, intensified by climate change and El Niño, have increased flooding in Peru. The town of Quechcap, located on the left bank of the Hatun Mayu River, is vulnerable to increased discharge during floods. The objective was to develop the preliminary design of a gabion wall as a riverbank protection measure to mitigate flood hazard and fluvial erosion through the evaluation of hydrological, hydraulic, and geotechnical parameters. The study was applied, descriptive, and non-experimental. Using maximum precipitation records from the Recuay station (1964–2013) and HEC-HMS 4.9, a design discharge of 620 m³/s was obtained for a 100-year return period. Hydraulic modeling with HEC-RAS determined a maximum flow depth of 2.95 m, a mean velocity of 2.50 m/s, and a shear stress of 126 N/m². The soil showed an internal friction angle of 26.12° and a unit weight of 18.38 kN/m³. General scour was estimated at 0.30 m and, for the preliminary design, a foundation depth of 0.65 m was adopted for a four-tier stepped wall, 4.20 m high and 3.00 m wide at the base, with a 0.60 m freeboard. GAWAC 3.1 analysis



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)
Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

yielded safety factors of 4.64 against sliding, 14.56 against overturning, and 1.50 for global stability. The results support a preliminary riverbank protection alternative subject to complementary verification of local scour, seismic condition, and final design parameters prior to implementation.

Keywords: Hatun Mayu River, Gabion Wall, Hydraulic Modeling, Soil Mechanics, Safety Factor.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cambio climático constituye uno de los principales desafíos para el desarrollo sostenible, debido a sus efectos sobre la disponibilidad de recursos hídricos, la producción agrícola y la calidad de vida de la población. Los países en vías de desarrollo presentan una mayor vulnerabilidad frente a estos impactos debido a limitaciones socioeconómicas y de infraestructura. Fenómenos como la intensificación de eventos extremos, la desglaciación y las alteraciones en los patrones de precipitación han incrementado los procesos de desplazamiento humano y la exposición de la población a diversos riesgos ambientales (Toulkeridis et al., 2020, p. 21).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022) señala que en el mundo el cambio climático ha experimentado una aceleración significativa durante las últimas décadas como consecuencia de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero. En los sistemas climáticos las emisiones globales continúan generando alteraciones, incrementando la frecuencia e intensidad de diversos eventos hidrometeorológicos extremos.

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2023) manifiesta que el fenómeno El Niño es generado por el aumento de las temperaturas en el océano Pacífico ecuatorial durante un periodo continuo de varios meses. Este organismo monitorea la atmósfera sobre la región del océano Pacífico, buscando una guía de circulación llamada "Walker", un flujo de aire masivo de este a oeste fomentado por la desigualdad entre la temperatura y presión formada por las frías aguas orientales y cálidas aguas occidentales. El fenómeno El Niño se manifiesta cuando la circulación "Walker" se interrumpe y las aguas cálidas se trasladan hacia el este en dirección a Sudamérica.

El IPCC (2022) señala que el incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación extrema aumenta el riesgo de inundaciones fluviales y sus impactos sobre las poblaciones y la infraestructura. En el Perú, durante eventos asociados al fenómeno El Niño, las precipitaciones pueden intensificarse significativamente en determinadas regiones, generando incrementos en los caudales de los ríos que, bajo ciertas condiciones, superan la capacidad hidráulica de sus cauces y provocan desbordes e inundaciones (SENAMHI, 2024; ENFEN, 2024). En la región andina peruana, las lluvias intensas constituyen uno de los principales factores desencadenantes de inundaciones, movimientos en masa, huaicos y procesos de erosión fluvial, ocasionando daños a la infraestructura, los medios de vida y las poblaciones asentadas en áreas vulnerables próximas a ríos

y quebradas. La exposición al riesgo es mayor en los centros poblados ubicados dentro de fajas marginales o zonas inundables, particularmente cuando predominan viviendas con limitada capacidad estructural y existen deficiencias en las medidas de preparación y gestión del riesgo (ANA, 2023).

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2025) informó sobre el comportamiento hidrológico del río Hatun Mayu. La estación hidrológica convencional San Pedro, ubicada en el distrito de Huaraz, registró caudales de hasta 215.8 m³/s durante la época de crecida (febrero-marzo), mientras que en la época de estiaje (junio) los caudales oscilaron entre 46.9 y 49.4 m³/s. Estos valores se ubican dentro de los umbrales naranja y amarillo, respectivamente, evidenciando un nivel de peligro para el desarrollo de las actividades en zonas próximas a la ribera.

En este contexto, las estructuras hidráulicas constituyen una medida estructural fundamental para mitigar los procesos de erosión de márgenes, reducir el riesgo de inundación y proteger a la población, la infraestructura y las actividades económicas ubicadas en las zonas aledañas a los cauces fluviales. No obstante, la efectividad de las estructuras hidráulicas existentes puede verse limitada por deficiencias en su diseño y la ausencia de programas periódicos de mantenimiento, factores que reducen su capacidad de respuesta frente a eventos hidrológicos extremos. En consecuencia, se requiere implementar alternativas técnicas de estructuras hidráulicas que permitan reducir la exposición de la población (Núñez, et. al., 2026).

Teniendo en cuenta esta problemática, el centro poblado de Quechcap, ubicado en la margen izquierda del río Hatun Mayu, constituye una zona altamente vulnerable frente a procesos de inundación y erosión fluvial. Debido al riesgo que representan estos eventos para la población, la infraestructura y las actividades económicas locales, el sector debe ser considerado prioritario dentro de las estrategias de gestión del riesgo de desastres.

Camacho Vargas y De La Cruz Mesías (2021) evaluaron alternativas de muros de defensa ribereña para mitigar los desbordes del río Rímac en Chosica. A partir de registros de 98 años de la estación hidrométrica de Chosica, estimaron un caudal de diseño de 404.67 m³/s para un periodo de retorno de 200 años y, mediante el método de Lischtván – Lebediev, una socavación general de 2.70 m. Compararon muros de concreto ciclópeo, de concreto armado, de gaviones y un muro con sistema de drenaje LGD, descartando este último porque el ancho de su cimentación superaba el disponible en el terreno. Recomendaron un muro de concreto armado aguas arriba y uno de concreto ciclópeo aguas abajo, y obtuvieron que el muro de gaviones presentaba menor costo por metro lineal.

Mejía Meza y Surco Paucar (2023) diseñaron una defensa ribereña con muro enrocado para mitigar las inundaciones del río Tullumayo, en Urubamba, Cusco. Mediante HEC-HMS determinaron un caudal de diseño de 15.10 m³/s para un periodo de retorno de 100 años y, empleando el caudal de 500 años de periodo de retorno, estimaron una socavación general de 0.75

m con el método de Lischtván – Lebediev. Propusieron un muro enrocado de 2.50 m de altura, con talud 1H:1V, ancho de corona de 3.00 m y profundidad de uña de 1.15 m, concluyendo que esta solución mitiga de manera adecuada las inundaciones en tramos críticos.

Halanocca Yana (2023) diseñó una defensa ribereña de muro de gaviones para mitigar el desbordamiento del río Cheqhuña, en el distrito de Maranganí, Cusco. A partir de estudios topográficos, hidrológicos, de mecánica de suelos e hidráulicos, determinó un caudal de diseño de $81.07 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 100 años y propuso un muro de 4.00 m de altura y 3.00 m de base, conformado por cuatro niveles escalonados, complementado con un colchón antisocavación. El autor concluyó que la estructura presenta una resistencia adecuada frente al empuje, al volteo y al deslizamiento durante las máximas avenidas.

De La Cruz Vega et al. (2022) diseñaron una estructura de protección ribereña mediante gaviones para la quebrada Chaupimayo, en Madre de Dios, a partir de estudios topográficos, hidrológicos, hidráulicos y de mecánica de suelos, empleando los programas HEC-HMS y HEC-RAS. Para un periodo de retorno de 100 años obtuvieron un caudal de $32.4 \text{ m}^3/\text{s}$, un tirante máximo de 2.22 m y una velocidad máxima de 3.78 m/s, y propusieron un muro escalonado de tres niveles de gaviones, de 3.00 m de altura y 2.00 m de base, complementado con un colchón antisocavación.

Los antecedentes revisados evidencian la importancia de las estructuras de protección ribereña como medida de mitigación frente a inundaciones y procesos de erosión fluvial, y demuestran que los estudios hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos constituyen la base del diseño. Asimismo, Halanocca Yana (2023) y De La Cruz Vega et al. (2022) muestran la aplicabilidad de los muros de gaviones en cauces andinos y amazónicos, mientras que Camacho Vargas y De La Cruz Mesías (2021) destacan su ventaja económica frente a las soluciones de concreto.

El objetivo de la presente investigación es desarrollar el diseño preliminar de un muro de gaviones como medida de protección ribereña para mitigar el peligro de inundación y erosión fluvial en el centro poblado de Quechcap, mediante la evaluación de los parámetros geotécnicos del suelo de fundación y el análisis de las condiciones hidrológicas e hidráulicas del río Hatun Mayu.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección de Materiales y métodos se describe el tipo y diseño de la investigación, la unidad de análisis y las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos; en Resultados se presentan los hallazgos hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos y de estabilidad estructural obtenidos; en la Discusión se contrastan dichos resultados con los antecedentes; finalmente, se exponen las conclusiones derivadas del estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de tipo aplicada, debido a que emplea conocimientos de la ingeniería hidráulica para proponer una solución técnica frente al riesgo de inundación existente en

el centro poblado de Quechcap. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la investigación aplicada busca utilizar el conocimiento científico para resolver problemas prácticos en contextos específicos. Asimismo, la investigación es de nivel descriptivo, ya que permite identificar, recopilar y caracterizar la información relacionada con las condiciones hidrológicas, hidráulicas y geotécnicas del área de estudio. El estudio es de corte transversal, debido a que la recolección de datos se realizó en un periodo determinado, permitiendo analizar las variables de investigación en las condiciones existentes al momento de su evaluación (Arias & Cangalaya, 2023).

La investigación adopta un diseño no experimental, dado que las variables de estudio no fueron manipuladas deliberadamente y los fenómenos analizados fueron observados en su contexto natural. En ese sentido, la investigación se limita a evaluar las condiciones existentes del área de estudio para desarrollar la propuesta de diseño de la estructura hidráulica correspondiente (Arias & Cangalaya, 2023).

La unidad de análisis comprende un tramo de 200 m del río Hatun Mayu ubicado en el sector Quechcap, distrito y provincia de Huaraz, departamento de Áncash. La selección de este tramo responde a la identificación de condiciones de vulnerabilidad asociadas a procesos de inundación y erosión fluvial que afectan a la población, las áreas agrícolas y las actividades económicas desarrolladas en la zona. En consecuencia, el sector constituye un área prioritaria para la evaluación hidráulica y el diseño de medidas estructurales de protección ribereña.

Existe un gran número de técnicas e instrumentos de recopilación de información que dependen de la naturaleza del objeto de estudio, el problema y el objetivo (Ríos Cabrera, 2020). Ante la ausencia de registros hidrométricos en el tramo de estudio, a la altura del centro poblado de Quechcap, el análisis hidrológico se sustentó en la información pluviométrica de la estación Recuay, administrada por el SENAMHI y ubicada en el distrito y provincia de Recuay ($9^{\circ}43'45''\text{S}$, $77^{\circ}27'13''\text{O}$; 3431 m.s.n.m.), dentro de la cuenca alta del río Hatun Mayu y aguas arriba del centro poblado de Quechcap, a aproximadamente 12 km. Se seleccionó esta estación por ser la más cercana al área de estudio con información de precipitación máxima en 24 horas, correspondiente al periodo 1964 – 2013 (50 años), longitud que supera los 30 años recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017) para caracterizar el régimen climático de una zona. La serie proviene de la etapa en que la estación operó como convencional; actualmente, el punto cuenta con una estación meteorológica automática (código 47259496). Previo al análisis de frecuencias, los registros fueron sometidos a pruebas de consistencia y detección de datos atípicos, y los valores máximos diarios se multiplicaron por el factor de 1.13 propuesto por Weiss (1964) para corregir la subestimación asociada a lecturas en intervalos fijos. Esta limitación resulta relevante debido a que la disponibilidad de observaciones hidrométricas y de relaciones nivel-caudal constituye un componente fundamental para la caracterización y monitoreo de crecidas. En este sentido, Núñez

Bustamante et al. (2026) destacan la necesidad de establecer curvas altura-caudal y umbrales derivados del análisis de frecuencia hidrológica como base para sistemas verificables de monitoreo de inundaciones.

Para el análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas se evaluaron las distribuciones Normal, Log Normal de dos y tres parámetros, Gamma de dos y tres parámetros, Log-Pearson tipo III, Gumbel y Log-Gumbel. La bondad de ajuste se evaluó mediante la prueba de Smirnov-Kolmogorov con un nivel de significancia del 5 %. En el estudio hidrológico de referencia, la distribución Gumbel presentó el menor estadístico de ajuste ($\Delta = 0.0649$), por lo que fue seleccionada para estimar las precipitaciones asociadas a los periodos de retorno analizados. Los valores máximos diarios fueron corregidos mediante el factor 1.13 de Weiss (1964).

Como antecedente técnico de la cuenca se utilizó el estudio hidrológico desarrollado para el sector adyacente de Quehuapampa. Dicho estudio delimitó la cuenca mediante cartografía del Instituto Geográfico Nacional, datum WGS 84 y proyección UTM zona 18 Sur, y reportó un área de 1374.00 km², perímetro de 173.49 km, longitud del cauce principal de aproximadamente 66.68 km, cota máxima de 4864 m s.n.m., cota de salida de 3081 m s.n.m. y número de curva CN = 72. Debido a que el presente artículo se circunscribe al sector Quechcap, estos parámetros se emplean como referencia técnica de la cuenca y no como sustitución de una delimitación independiente del punto específico de estudio.

Los parámetros hidrológicos fueron procesados mediante HEC-HMS versión 4.9. Como referencia técnica, el expediente del sector adyacente de Quehuapampa empleó un número de curva CN = 72 y una tormenta sintética NRCS Tipo II, obteniendo un caudal pico de 619.80 m³/s para un periodo de retorno de 100 años. Para el diseño preliminar del tramo de Quechcap se adoptó un caudal de 620 m³/s, equivalente por redondeo al valor de referencia. Posteriormente, este caudal fue empleado en el modelamiento hidráulico mediante HEC-RAS. El modelo hidráulico de referencia corresponde a un esquema unidimensional (1D), de flujo permanente, no uniforme y lecho fijo, con geometría obtenida a partir del levantamiento topográfico mediante secciones transversales del cauce. El expediente técnico del sector adyacente utilizó coeficientes de Manning $n = 0.053$ en ambas márgenes y $n = 0.044$ en el cauce principal, determinados mediante el criterio de Cowan. Estos parámetros se emplean como antecedentes técnicos del diseño preliminar y su aplicabilidad específica al tramo de Quechcap constituye una limitación reconocida del estudio. Para el estudio de mecánica de suelos se realizaron ensayos de laboratorio conforme a las normas ASTM aplicables, con el fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas requeridas para el diseño.

La caracterización geotécnica de referencia comprendió una calicata C-01 excavada hasta 1.50 m de profundidad, con obtención de muestras disturbadas para ensayos de laboratorio. La exploración fue planteada conforme a ASTM D420 y la caracterización incluyó análisis

granulométrico, límites de consistencia y clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En el expediente técnico del sector adyacente se reporta una clasificación GW-GM, correspondiente a grava bien graduada con limo y arena. Los parámetros resistentes utilizados en el diseño del presente artículo se reportan separadamente en los resultados.

Finalmente, la profundidad de socavación general se estimó mediante el método de Lischvan-Lebediev, y la estabilidad del muro de gaviones se verificó frente al deslizamiento, el vuelco y la estabilidad global mediante el software GAWAC 3.1 Gabion Wall Design.

3. RESULTADOS

3.1 Estudio hidrológico

Se efectuó el análisis probabilístico de los registros históricos de precipitación para estimar los valores asociados a diferentes periodos de retorno. Para el diseño preliminar se seleccionó un periodo de retorno de 100 años. El estudio hidrológico de referencia reporta un tiempo de concentración de 6.78 h para su punto de control, obtenido a partir de la evaluación de expresiones empíricas de tiempo de concentración. Debido a que no se dispone en el material revisado de un cálculo independiente y verificable de este parámetro para el tramo Quechcap, el valor se conserva únicamente como antecedente hidrológico de referencia y no como medición específica del emplazamiento.

A partir de la precipitación máxima asociada al periodo de retorno de 100 años, el estudio hidrológico de referencia construyó el hietograma sintético mediante la distribución adimensional Tipo II del NRCS (Fattorelli & Fernández, 2011). El expediente técnico documenta el uso de esta distribución para la generación de la tormenta de diseño, sin aportar una validación local específica para Quechcap. El estudio de referencia, procesado mediante HEC-HMS versión 4.9, obtuvo 619.80 m³/s para un periodo de retorno de 100 años; para el dimensionamiento preliminar se adoptó 620 m³/s por redondeo.

Tabla 1. Resumen de resultados del estudio hidrológico.

Parámetro	Valor
Periodo de retorno	100 años
Tiempo de concentración	6.78 h (estudio de referencia)
Curva NRCS	Tipo II
Caudal máximo de diseño	620 m ³ /s

3.2 Modelamiento hidráulico

Para el dimensionamiento preliminar se utilizó HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers. El antecedente

hidráulico disponible corresponde al sector adyacente y fue desarrollado con un esquema 1D, flujo permanente, no uniforme y lecho fijo, con valores de Manning $n = 0.053$ en las márgenes y $n = 0.044$ en el cauce principal. Los valores hidráulicos consignados en la Tabla 2 forman parte de la información técnica empleada para el dimensionamiento preliminar. Debido a que el material revisado no incluye una geometría HEC-RAS y condiciones de frontera independientes del tramo Quechcap que permitan reproducir esos resultados, su confirmación específica queda requerida antes del diseño definitivo.

Tabla 2. Resultados del modelamiento hidráulico.

Parámetro hidráulico	Valor
Tirante máximo (y)	2.95 m
Velocidad media del flujo (v)	2.50 m/s
Esfuerzo cortante hidráulico	126 N/m ²

3.3 Estudio de mecánica de suelos

Con la finalidad de disponer de parámetros geotécnicos para el diseño preliminar, se utilizaron los resultados de corte directo disponibles en la documentación técnica, ejecutados conforme a ASTM D3080. Para el análisis se adoptaron un ángulo de fricción interna de 26.12° y un peso específico del terreno de 18.38 kN/m^3 (Tabla 3). La caracterización documental disponible incluye información del sector adyacente; por esta razón, estos parámetros se consideran valores de diseño preliminar y deberán confirmarse mediante exploración y ensayos específicos en el emplazamiento definitivo de Quechcap.

Tabla 3. Resultados del estudio de mecánica de suelos.

Parámetro geotécnico	Valor
Ángulo de fricción interna (ϕ)	26.12°
Peso específico del terreno (γ_m)	18.38 kN/m^3

3.4 Estimación de los niveles de socavación

Debido a que la socavación al pie constituye una de las principales causas de falla de los muros de gaviones en cauces aluviales, se evaluó la socavación general mediante el método de Lischvan-Lebediev. El procedimiento relaciona las condiciones hidráulicas de la sección y la resistencia del material del lecho para estimar la profundidad de erosión general. La evaluación se limita a la socavación general y no comprende, de manera independiente, socavación local al pie, socavación por contracción ni evolución morfológica del cauce.

Con el caudal de diseño adoptado de $620 \text{ m}^3/\text{s}$ y el tirante de 2.95 m consignado en la información hidráulica utilizada para el dimensionamiento, se obtuvo una estimación de socavación general de 0.30 m mediante el método de Lischtván-Lebediev. Para el diseño preliminar se adoptó una profundidad de cimentación de 0.65 m. Este resultado no constituye una verificación integral de la erosión del cauce; por tanto, la socavación y la profundidad de cimentación deberán recalcularse con información hidráulica, geométrica y granulométrica específica del tramo antes del diseño definitivo.

3.5 Diseño de la estructura

La estructura propuesta consiste en un muro de gaviones de gravedad escalonado, conformado por cuatro niveles de cajas de malla de alambre galvanizado rellenas con piedra caliza de 200 mm (8") de diámetro, de 1.05 m de altura y 3.00 m de longitud cada una, con anchos que disminuyen de 3.00 m en la base a 1.50 m en la corona (Tabla 4), alcanzando una altura total de 4.20 m. El muro se cimenta a una profundidad de 0.65 m bajo el lecho del río, de modo que su base queda a 0.35 m por debajo del nivel de socavación estimado de 0.30 m. Considerando el tirante máximo de 2.95 m, la corona del muro proporciona un borde libre de 0.60 m sobre el nivel de agua correspondiente al periodo de retorno de 100 años.

Tabla 4. Configuración de las cajas del muro propuesto.

Nivel	Tipo de caja	Dimensiones (alto x ancho x largo [m])
4 (Corona)	A	1.05 x 1.50 x 3.00
3	B	1.05 x 2.00 x 3.00
2	C	1.05 x 2.50 x 3.00
1 (Base)	D	1.05 x 3.00 x 3.00

Los parámetros hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos obtenidos fueron incorporados al software GAWAC 3.1 Gabion Wall Design para el análisis de estabilidad de la estructura propuesta. A partir de estos valores se verificaron las condiciones de seguridad frente al deslizamiento, el vuelco y la estabilidad global de la estructura. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de los factores de seguridad.

Verificación	FS obtenido	FS mínimo admisible	Condición
Deslizamiento	4.64	1.50	Cumple
Vuelco	14.56	2.00	Cumple
Estabilidad global	1.50	1.50	Cumple

Los factores de seguridad al deslizamiento y al vuelco superan los valores mínimos adoptados, mientras que la estabilidad global alcanza el valor mínimo requerido de 1.50 y constituye la condición controlante del diseño.

En consecuencia, los resultados corresponden a una verificación preliminar bajo los parámetros y condiciones de carga considerados; la geometría final deberá verificarse frente a la variabilidad de los parámetros geotécnicos y a las acciones adicionales aplicables al diseño definitivo.

4. DISCUSIÓN

El caudal máximo de diseño de $620 \text{ m}^3/\text{s}$, estimado para un periodo de retorno de 100 años, es aproximadamente 2.9 veces mayor que el caudal de $215.8 \text{ m}^3/\text{s}$ registrado por la estación hidrológica San Pedro durante la crecida de 2025 (SENAMHI, 2025). Esta diferencia es coherente con la naturaleza de ambos valores, ya que el caudal observado corresponde a un evento de una sola temporada, mientras que el caudal de diseño representa un evento extremo con una probabilidad anual de excedencia de 1%. El caudal obtenido es superior a los reportados por Halanocca Yana (2023) para el río Cheqhuña ($81.07 \text{ m}^3/\text{s}$), por De La Cruz Vega et al. (2022) para la quebrada Chaupimayo ($32.4 \text{ m}^3/\text{s}$) y por Mejía Meza y Surco Paucar (2023) para el río Tullumayo ($15.10 \text{ m}^3/\text{s}$), todos para el mismo periodo de retorno, y del mismo orden que el estimado por Camacho Vargas y De La Cruz Mesías (2021) para el río Rímac ($404.67 \text{ m}^3/\text{s}$ para 200 años). Estas diferencias reflejan la mayor extensión de la cuenca del río Hatun Mayu respecto de las microcuencas estudiadas en los antecedentes.

Los valores hidráulicos empleados para el dimensionamiento preliminar fueron una velocidad media de 2.50 m/s y un esfuerzo cortante de 126 N/m^2 . La velocidad considerada es inferior a la velocidad máxima de 3.78 m/s reportada por De La Cruz Vega et al. (2022) para la quebrada Chaupimayo, donde se propuso una estructura de gaviones. Esta comparación aporta un antecedente de aplicación de gaviones bajo solicitaciones hidráulicas relevantes, pero no sustituye la verificación hidráulica específica del tramo Quechcap. Frente al muro enrocado estudiado por Mejía Meza y Surco Paucar (2023), la alternativa de gaviones ofrece flexibilidad estructural y permeabilidad, características pertinentes para una propuesta preliminar de protección ribereña.

En cuanto a las propiedades geotécnicas utilizadas en el análisis, el ángulo de fricción interna adoptado fue de 26.12° . Mejía Meza y Surco Paucar (2023) reportaron 27.70° para el suelo analizado en el río Tullumayo. La proximidad de ambos valores constituye únicamente una comparación con un antecedente y no demuestra equivalencia geotécnica entre los emplazamientos.

La estimación de socavación general de 0.30 m es inferior a la profundidad de cimentación preliminar adoptada de 0.65 m ; sin embargo, esta comparación no sustituye la evaluación de socavación local, por contracción ni de la evolución morfológica del cauce. Camacho Vargas y De La Cruz Mesías (2021) y Mejía Meza y Surco Paucar (2023), empleando también el método de

Lischtvan-Lebediev, reportaron profundidades de 2.70 m y 0.75 m, respectivamente, mientras que Halanocca Yana (2023) estimó 1.23 m mediante el método de Lacey. La amplitud de estos valores evidencia la sensibilidad de la socavación a las condiciones hidráulicas, geométricas y granulométricas de cada tramo; por ello, el valor utilizado en Quechcap debe considerarse preliminar hasta su verificación específica.

La geometría adoptada es comparable a la propuesta de Halanocca Yana (2023), quien diseñó un muro de gaviones de 4.00 m de altura y 3.00 m de base en cuatro niveles escalonados, con un borde libre de 0.86 m. En el presente estudio, la altura total de 4.20 m, conformada por cuatro niveles de cajas de 1.05 m, proporciona un borde libre de 0.60 m sobre el tirante máximo de 2.95 m. En cuanto a la estabilidad, los factores de seguridad al deslizamiento (4.64) y al vuelco (14.56) superan ampliamente los mínimos admisibles, lo que se explica por el ancho de base de 3.00 m en relación con la altura del muro; en cambio, la estabilidad global (1.50) alcanza justamente el valor mínimo requerido, por lo que constituye la condición que controla el diseño.

Entre las principales limitaciones del estudio, el análisis hidrológico se basó en los registros de una única estación pluviométrica y en antecedentes técnicos del sector adyacente de Quehuapampa. El modelo hidrológico no contó con calibración directa mediante una serie de caudales observados en el punto de estudio; por ello, el caudal registrado en 2025 se utiliza únicamente como elemento de contraste y no como validación del evento de 100 años. Los parámetros hidráulicos y geotécnicos pueden variar espacialmente a lo largo del cauce y el material revisado no permite reproducir de forma independiente una geometría HEC-RAS, condiciones de frontera, exploración geotécnica ni análisis de socavación específicos del tramo Quechcap. Tampoco se evaluaron de manera independiente la socavación local al pie de la estructura, la socavación por contracción, la evolución morfológica del cauce ni la condición sísmica específica de la geometría final. En consecuencia, los resultados corresponden a una evaluación técnica de diseño preliminar y requieren verificación específica del emplazamiento antes de su implementación.

En conjunto, la información hidrológica, hidráulica y geotécnica disponible permite estructurar el diseño preliminar del muro de gaviones propuesto para el centro poblado de Quechcap. La propuesta constituye una alternativa técnica de protección ribereña para mitigar el peligro de inundación y erosión fluvial y requiere las verificaciones específicas señaladas antes de su implementación definitiva.

5. CONCLUSIONES

El análisis hidrológico, basado en los registros de precipitación máxima en 24 horas de la estación Recuay y en el estudio hidrológico de referencia del sector adyacente, permitió adoptar un

caudal de diseño de 620 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, equivalente por redondeo al valor de 619.80 m³/s reportado por dicho antecedente. Este caudal constituyó la base del modelamiento hidráulico y del diseño preliminar de la estructura.

Para el diseño preliminar se consideraron un tirante máximo de 2.95 m, una velocidad media de 2.50 m/s y un esfuerzo cortante de 126 N/m² a partir de la información hidráulica disponible. La confirmación de estos parámetros requiere geometría, rugosidad y condiciones de frontera específicas del tramo Quechcap antes del diseño definitivo.

Para el análisis preliminar de estabilidad se adoptaron un ángulo de fricción interna de 26.12° y un peso específico de 18.38 kN/m³ a partir de la información geotécnica disponible. Debido a la variabilidad espacial del suelo de fundación, estos parámetros deberán confirmarse mediante ensayos específicos en el emplazamiento definitivo de Quechcap.

La socavación general estimada mediante el método de Lischvan-Lebediev fue de 0.30 m y se adoptó, para el diseño preliminar, una profundidad de cimentación de 0.65 m. Debido a que no se evaluaron de manera independiente la socavación local ni la socavación por contracción, la profundidad de cimentación deberá verificarse específicamente en la etapa de diseño definitivo.

El análisis de estabilidad efectuado mediante GAWAC 3.1 Gabion Wall Design obtuvo un factor de seguridad global de 1.50, un factor de seguridad al deslizamiento de 4.64 y un factor de seguridad al vuelco de 14.56. La estabilidad global constituye la condición controlante al coincidir con el valor mínimo adoptado, por lo que la geometría final requiere verificación con las condiciones de carga y parámetros geotécnicos definitivos.

En consecuencia, el muro de gaviones propuesto constituye una alternativa preliminar de protección ribereña para mitigar el peligro de inundación y erosión fluvial en el centro poblado de Quechcap. Antes de su implementación definitiva se requiere verificar la socavación local y por contracción, la condición sísmica de la geometría final y los parámetros hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos específicos del emplazamiento.

FINANCIACIÓN .- El autor declara que la presente investigación fue autofinanciada.

CONFLICTO DE INTERESES.- El autor declara que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://credit.niso.org/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Coral J.	Ramirez R	Mejia E	Olaza C.	Bedia C.
Participar activamente en:					
Conceptualización	X	X	X	X	X
Análisis formal	X	X	X	X	X

Adquisición de fondos	X	X	X	X	X
Investigación	X	X	X	X	X
Metodología	X	X	X	X	X
Administración del proyecto	X	X	X	X	X
Recursos	X	X	X	X	X
Redacción –borrador original	X	X	X	X	X
Redacción –revisión y edición	X	X	X	X	X
La discusión de los resultados	X	X	X	X	X
Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.	X	X	X	X	X

DECLARACIÓN DE ÉTICA / CONSENTIMIENTO INFORMADO

No aplica, debido a que la investigación no involucró participantes humanos ni animales.

DECLARACIÓN SOBRE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Durante la preparación del manuscrito se utilizó la herramienta Claude (Anthropic) como apoyo en la revisión de la redacción, la organización del texto, la traducción del resumen al inglés y la adecuación al formato de la revista. El autor revisó y validó todo el contenido y asume plena responsabilidad sobre el mismo.

REFERENCIAS

- Arias Chávez, D., & Cangalaya Sevillano, L. (2023). Manual del tesista: Principios metodológicos para escribir una tesis. Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Autoridad Nacional del Agua. (2023). Observatorio Nacional de Recursos Hídricos.
<https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>
- Camacho Vargas, B. A., & De La Cruz Mesías, J. U. (2021). Propuesta de diseño de un muro de defensa ribereña con sistema de drenaje LGD en el río Rímac desde el puente colgante al puente Estela Montti, Chosica [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/658731>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill.
- Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño. (2024, 12 de enero). Comunicado oficial ENFEN N.º 01-2024.
<https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/5040622-comunicado-enfen-n-01-2024>
- De La Cruz Vega, S. A., Garrido Oyola, J. A., Ascoy Flores, K. A., & Gonzales Moncada, T. M. (2022). Protección ribereña mediante gaviones en la selva peruana. Universidad, Ciencia y Tecnología, 26(116), 54-62. <https://doi.org/10.47460/uct.v26i116.643>

- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). Diseño hidrológico.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/disenio-hidrologico>
- Halanocca Yana, R. H. (2023). Diseño de defensas ribereñas de muro de gaviones para mitigar el desbordamiento en el río Cheqhuiña del distrito de Maranganí, provincia de Canchis y departamento de Cusco [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio Académico USMP. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/12549>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability: Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Mejía Meza, L., & Surco Paucar, K. E. (2023). Defensa ribereña con el sistema de muro enrocado para mitigar las inundaciones del río Tullumayo - Urubamba - Cusco [Tesis de grado, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio Académico USMP.
<https://hdl.handle.net/20.500.12727/13570>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023, June 8). El Niño forms, expected to strengthen, say NOAA forecasters. <https://www.noaa.gov/news-release/el-nino-forms-expected-to-strengthen-say-noaa-forecasters>
- Núñez Bustamante, N., Huaman Tanta, M. G., Peláez, K., Perales Rufasto, J. J., & Rafael Tiglia, J. A. N. (2026). Sistema de Alerta Temprana (SAT) hidrológico basado en nivel de agua para la ciudad de Lajas (Chota, Cajamarca): diseño metodológico verificable con umbrales por frecuencia regional y telemetría LoRaWAN. Technology Rain Journal, 5(1), e119. DOI: 10.55204/trj.v5i1.e119
- Organización Meteorológica Mundial. (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas (OMM-N.º 1203).
<https://library.wmo.int/records/item/55797-wmo-guidelines-on-the-calculation-of-climate-normals>
- Ríos Cabrera, P. (2020). Metodología de la investigación: Un enfoque pedagógico. Cognitus, C.A.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024, 2 de septiembre). Informe de lluvias a nivel nacional 2023-2024. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/5945253-informe-de-lluvias-a-nivel-nacional-2023-2024>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2025, 3 de marzo). *Avisos hidrológicos*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=avisos-detalle-hidrologicos&ca=54614&ce=211408>
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-Baile, D., Merizalde-Mora, M. J., Reyes-Yunga, D. F., Viera-Torres, M., & Heredia, M. (2020). Cambio climático según los académicos ecuatorianos: Percepciones versus hechos. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1), 21-46. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.02>
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2016). HEC-RAS River Analysis System: User's manual (Version 5.0, CPD-68). <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation.aspx>
- Weiss, L. L. (1964). Ratio of true to fixed-interval maximum rainfall. *Journal of the Hydraulics Division*, 90(1), 77-82. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0001008>