



Gaviones ecológicos para la protección de las inundaciones y equilibrio biótico en el poblado Chacarilla del río Matagente

Ecological gabions for flood protection and biotic balance in the Chacarilla town of the Matagente river

Manuel Alejandro Custodio Salas, Lucy Gabriela Ayala Prado, Óscar Rojas Hernández, Percy Raúl Castro Vásquez, Gustavo Antezana Quiroz, Maiquel López Silva

RECIBIDO: 02 de diciembre de 2023.

ACEPTADO: 15 de febrero de 2024.

Resumen

Las inundaciones fluviales amenazan continuamente la seguridad, infraestructura y salud en entornos urbanos y medio ambiente, generando riesgos significativos para las comunidades. El objetivo del presente artículo es realizar el dimensionamiento de muros de gaviones ecológicos para la protección de las inundaciones y equilibrio biótico en el poblado Chacarilla del río Matagente. La metodología utilizada fue multidisciplinaria. Se aplicaron métodos empíricos y numéricos para las condiciones hidrológicas e hidráulicas, así como modelos matemáticos para el dimensionamiento del muro de gavión ecológico. Se aplicó la matriz de Leopold con enfoque cualitativo y cuantitativo para el análisis del impacto ambiental. Para el procesamiento y análisis de la información se utilizaron diferentes herramientas de cálculos como el ArcGIS Pro 2.0, HEC HMS, Hec-Ras 6.14 y Gawac 3.0. Como principales resultados se alcanzó que el caudal máximo, el cual fue de 1379.63 m³/s para un periodo de retorno de 140 años, generó una socavación máxima de 5.3 m a lo largo de +0.000 m a +880.00 m del tramo del río. Por tanto, las dimensiones de muro de gavión ecológico fueron de 8 m de altura, 4.5 m de ancho para un total de 14960 bloques; se estimó un presupuesto para la obra de S/6.699.633,85. Se concluye que los muros de gaviones ecológicos son una alternativa viable para mitigar las inundaciones y cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: inundaciones fluviales, gaviones ecológicos, impacto ambiental, equilibrio biótico, periodo de retorno, modelos matemáticos, socavación máxima.

Cómo citar

M. A. Custodio Salas, L. G. Ayala Prado, O. Rojas Hernández, P. R. Castro Vásquez, G. Antezana Quiroz, y M. López Silva, «Gaviones ecológicos para la protección de las inundaciones y equilibrio biótico en el poblado Chacarilla del río Matagente», *Perfiles_Ingenieria*, vol. 20, n.º 21, pp. 23-37, jun. 2024.

Abstract

River flooding continually threatens safety, infrastructure and health in urban environments and the environment, generating significant risks for communities. The objective of this article is to carry out the sizing of ecological gabion walls for flood protection and biotic balance in the Chacarilla town of the Matagente River. The methodology used was multidisciplinary from basic, specific and detailed studies. Empirical and numerical methods will be applied for hydrological and hydraulic conditions, as well as mathematical models for the sizing of the ecological gabion wall. The Leopold matrix was applied with a qualitative and quantitative approach for the analysis of environmental impact. For the processing and analysis of the information, different calculation tools were used such as ArcGIS Pro 2.0, HEC HMS, Hec Ras and Gawac 3.0. As the main results, the maximum flow was achieved first, which was 1379.63 m³/s for a return period of 140 years, which generated a maximum scour of 5.3 m along +0.000m to +880.00m of the river section. Therefore, the dimensions of the ecological gabion wall were 8 m high, 4.5 m wide for a total of 14960 blocks. A budget for the work was estimated at S/6,699,633.85. As conclusions, it is defined that ecological gabion walls are a viable alternative to mitigate floods and care for the environment.

Keywords: river floods, ecological gabions, environmental impact, biotic balance, return period, mathematical models, maximum scour

© Los autores. Este artículo Open Access está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0).



1. Introducción

En algunas naciones de América del Sur, se conoce al fenómeno de El Niño como un aumento en la temperatura superficial del mar a lo largo de la costa oeste de América del Sur que es acompañado de fuertes lluvias. En el pasado, se consideraba un fenómeno local, pero en la actualidad se ha reconocido como el factor principal que contribuye a la alteración del cambio climático a nivel global de manera anual [1]. El Perú es un país diverso y complejo por su variedad ambiental, que comprende sectores susceptibles de desastres naturales como pueden ser sismos, tsunamis, inundaciones y corrimientos de tierra. En ese sentido, los daños causados por inundaciones son los que se presentan con mayor frecuencia en el país. En particular, la probabilidad de inundaciones de gran magnitud es mucho mayor durante los años en los que se registra el fenómeno de El Niño [2]. Asimismo, las inundaciones acarrear grandes pérdidas económicas reflejadas en destrucción de viviendas y el daño a gran parte de cultivos de las comunidades que laboran sus tierras aledañas a los ríos [3].

En Lima Metropolitana, el último evento de lluvias intensas vinculado al fenómeno de El Niño ocurrió en el año 2017, el mismo que produjo el desborde de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Además, activó múltiples quebradas que causaron la pérdida de vidas humanas y daños materiales [4].

En los últimos años, las ciudades costeras, especialmente en la provincia de Chincha, han experimentado un crecimiento significativo. La ocupación indebida de áreas cercanas a los ríos está acelerando la degradación de sus márgenes, lo que expone estas zonas a riesgos potenciales durante eventos naturales cíclicos con características extremas en el Perú. Es por eso que el poblado de Chacarilla no es ajeno a esta problemática, debido a que se observa que en el primer trimestre de cada año se producen grandes aumentos del caudal en el río Matagente que sobrepasa la capacidad hidráulica natural [5]. Esto supone que, en el futuro, persistirán las inundaciones, lo que provocará reiteradamente daños significativos tanto a las viviendas, como a los cultivos.

En vista de ello, el propósito de este análisis es anticipar posibles desastres derivados de riesgos como inundaciones y deslizamientos de tierra durante la temporada de lluvias de 2023. El objetivo es respaldar la aplicación de medidas preventivas, tanto de naturaleza estructural como no estructural en la zona de influencia. Se busca abordar específicamente la amenaza potencial de deslizamientos de tierra en la cuenca del río Matagente, cuyas precipitaciones podrían tener un impacto significativo en el sector de Chacarilla [6]. En ese sentido, se propuso la construcción de un muro de gavión que servirá de soporte y protección para evitar que el cauce salga de su curso en momentos de crecida. De este modo, se proporcionará estabilidad a los terrenos ubicados en los márgenes del río [7]. Asimismo, debido a la actual contaminación ambiental, es necesario promover construcciones ecológicas y sostenibles. Se busca optimizar el uso del agua de lluvia y aprovechar la radiación solar en el sector de la construcción civil como alternativas viables y respetuosas con el medio ambiente [8].

Por todo lo expuesto, el presente artículo busca analizar los gaviones ecológicos para la protección de las inundaciones y equilibrio biótico en el poblado Chacarilla del río Matagente. Se visualiza como una medida proactiva para prevenir inundaciones. Este enfoque se sustenta en una metodología integral que combina la ingeniería hidráulica, la gestión de riesgos y la sostenibilidad ambiental. A través de un análisis detallado de la problemática existente y la aplicación de técnicas modernas de control de inundaciones, se busca establecer una solución sostenible que no sólo proteja a la ciudad de eventos extremos, sino que también fomente la resiliencia a largo plazo.

2. Metodología

La investigación se llevó a cabo en el centro poblado Chacarilla, ubicado en la provincia de Chincha, distrito de Chincha baja, que abarca 124 viviendas con una población de 451 habitantes [9]. La muestra del estudio se seleccionó tomando 200 m aguas arriba y 680 m aguas abajo del puente Chamorro.

El estudio se distribuyó en tres etapas, las cuales abarcan desde estudios básicos, hidrología e hidráulica hasta los costos e impacto ambiental.

2.1. Etapa I: Estudios básicos

Está compuesta por los estudios topográficos, geológicos y geotécnicos; se llevó a cabo mediante el uso de fuentes hidro informáticas que proporciona la Autoridad Nacional del Agua (ANA), INGEMMET, SENAMHI, y los sistemas de información geográfica. La información recopilada fue procesada utilizando herramientas como ArcGIS Pro 2.0, HEC HMS, Geo GPS, Hec-Ras 6.14 , Trend e Hydrognomon 4. A través de estas se delimitó la cuenca hidrográfica, el área de estudio, los parámetros morfométricos de la cuenca y la elaboración de los planos.

En relación a la obtención del caudal máximo del río Matagente, se recopilaron series históricas de caudales del río brindadas por la ANA. También se utilizó el programa Trend para analizar la consistencia de los datos y así determinar la máxima avenida del río con el programa Hydrognomon en función del tiempo del retorno mediante los valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje. Para defensas ribereñas, este es un 25% con una vida útil de 40 años [10]. Para hallar el tiempo de retorno se tomó en cuenta la siguiente ecuación y por consiguiente el caudal máximo.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

n es la vida útil en años, T es el tiempo de retorno, R es el riesgo de falla admisible.

2.2. Etapa II: Estudio hidráulico y estructural

En esta fase, se llevaron a cabo estudios hidráulicos y estructurales, esenciales para la gestión y mitigación de riesgos en el río Matagente utilizaron los programas Hec-Ras 6.14 y ArcGIS Pro 2.0 para poder identificar el ancho de encauzamiento y el área inundada.

Para estimar la socavación, se empleó el Método de Lacey, adaptándolo a la investigación mediante factores propios, como el factor "f" y el factor de corrección "Ksa". Con los datos obtenidos se determinó la profundidad de socavación, para luego hallar el perfil de socavación del tramo del río. Esto se formuló mediante las siguientes ecuaciones:

$$Ds = 1.35 (q^2 - f/3)$$

Donde:

Ds es la profundidad de socavación por debajo de la superficie del agua en la máxima avenida (m), q es el caudal unitario (m³/s/m), f el factor propuesto por Lacey.

$$Dsa = Ksa * Ds$$

Donde: Dsa es la profundidad de socavación por debajo de la superficie del agua ajustada (m), Ksa factor de corrección según características del río.

$$dsa = Dsa - Y$$

Donde: dsa es la profundidad de socavación por debajo del lecho del río (m), Y es el tirante máximo del agua (m).

En función al diseño de los gaviones ecológicos, se empleó el programa Gawac 3.0 para el análisis estructural, considerando parámetros como peso específico del suelo, ángulo de fricción, tirante de agua, entre otros. Con estos análisis, se identificó la cantidad de bloques que conformarían el muro.

2.3. Etapa III: Presupuesto e impacto ambiental

En base al metrado, se determinó el presupuesto que se necesitará para la ejecución del muro de gavión ecológico. Los costos se tomaron en base a los precios unitarios brindados por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) [11]. Y como herramienta de análisis se utilizó el S10, hojas de cálculo y criterios profesionales.

Para el análisis de impacto ambiental se utilizó como herramienta la Matriz de Leopold para el análisis cualitativo y cuantitativo con las matrices brindadas por el profesor a cargo del curso de Taller de Obras Hidráulicas López. Para el análisis cuantitativo también se utilizó la siguiente ecuación que determina el índice de significancia [15]:

$$S = + - (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

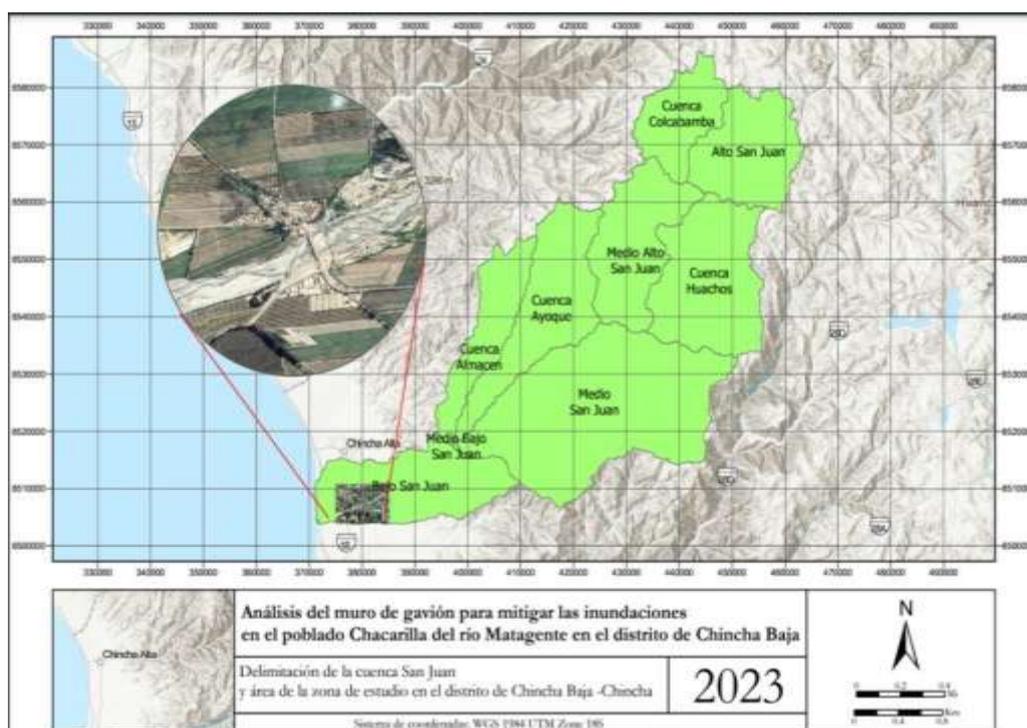
Donde: IN es el grado de incidencia; EX, la Extensión, se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno; MO, el Momento, se refiere al plazo de la manifestación del impacto; PE, la Persistencia, se refiere a cuánto dura el impacto; RV, la Reversibilidad, se refiere a la recuperación del factor afectado por el proyecto; SI, la Sinergia, se refiere a que dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales; AC, la Acumulación, el incremento de la manifestación del efecto; EF, el Efecto, se refiere a la relación causa-efecto, PR, la Periodicidad, se refiere a la regularidad de manifestación del efecto; MC, la Recuperabilidad, o sea, la posibilidad de reconstrucción de la afectación.

3. Resultados

La delimitación de la cuenca hidrográfica San Juan se muestra en la figura 1. Posee un área de 3335.44 km², un perímetro de 359.69 km y una longitud de 172.19 km. Además, se generó un plano topográfico utilizando archivos DEM y se obtuvieron curvas de nivel con una equidistancia de 2 metros.

Figura 1.

Delimitación de la cuenca San Juan y ubicación de la zona de estudio

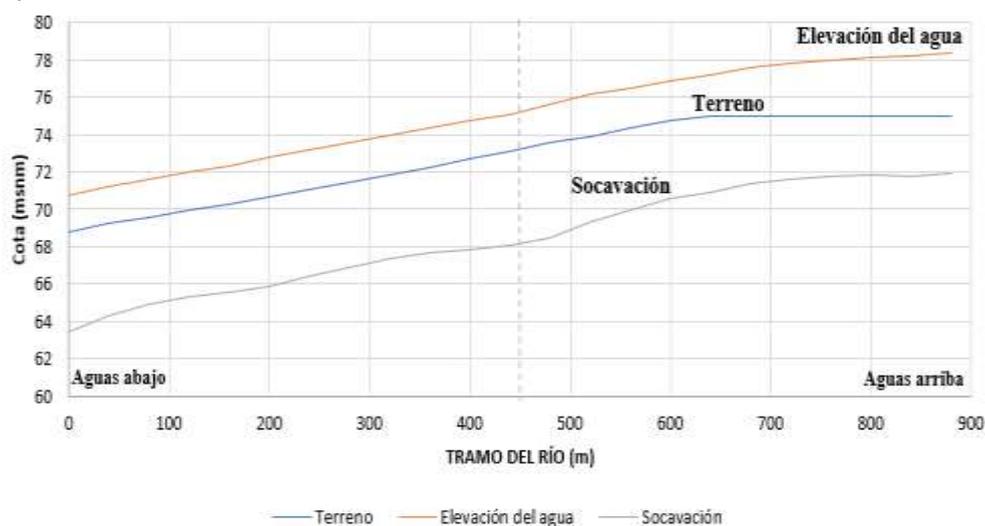


En la figura 2, se obtuvo el plano geológico, donde predomina la acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos que van de subangulosos a angulosos de diferente composición [12].

Se estimó que la socavación en la zona de estudio por el Método de Lacey [13] fue de 5.339 m por debajo del lecho del río y, por consiguiente, una socavación de 7.299 m por debajo de la superficie del agua, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4.

Perfil de socavación en el tramo del río



Se analizó de forma estructural el muro de gavión por el modelo numérico Gawac 3.0 [14]. Se utilizaron los parámetros geotécnicos que se muestran en la tabla 1 para el procesamiento en el software.

Tabla 1.

Datos para el diseño de muro de gaviones – Gawac 3.0

Peso específico del suelo	$\gamma = 16 \text{ kN/m}^2$
Ángulo de fricción interna del suelo	$\Phi = 27 \text{ kN/m}^2$
Peso específico del relleno	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^2$
Ángulo de fricción interna del relleno	$\Phi = 25^\circ$
Cohesión del suelo y relleno	$C = 0$
Tirante del agua	$y = 7.8$
Altura libre de diseño	$h' = 8.5$
Componente horizontal del sismo	$Kh = 0.15$

En la figura 5, se presentan los resultados del análisis del estado límite de servicio del muro de gaviones, el cual nos muestra los diferentes factores de seguridad. La estabilidad global, el factor deslizamiento y el factor al vuelco alcanzaron valores de 1.27, 3.79 y 3.31 respectivamente. En general, se cumplió lo establecido con la norma E. 020 y criterio de Macafferri.

Figura 5.

Resultados al estado límite de servicio del muro de gaviones

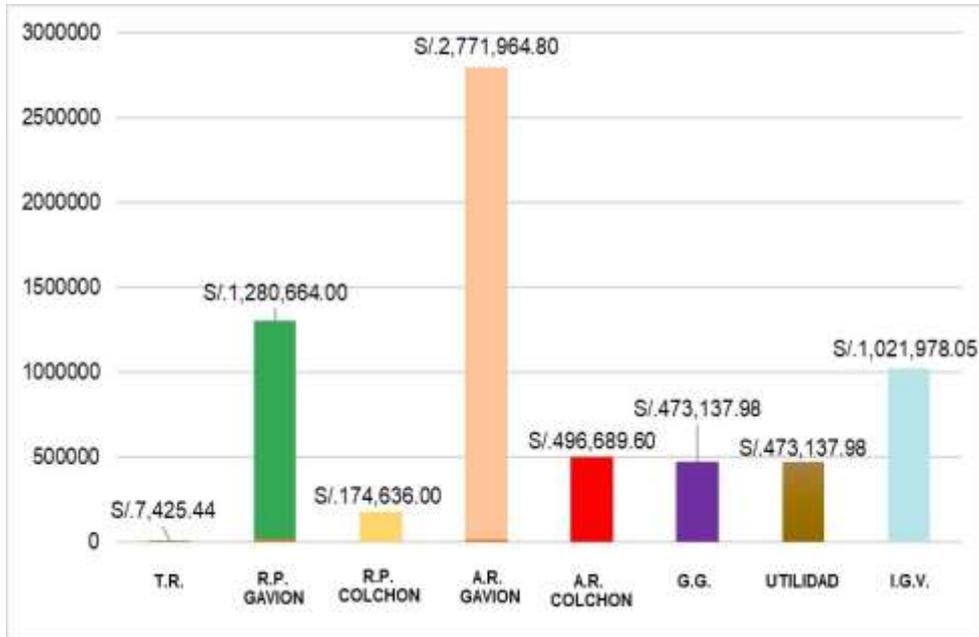


Nota: Adaptada del programa GAWAC 3.0.

Se utilizaron 7 cajas tipo I (1x1m) y 10 cajas tipo II (1x1.5m), lo que dio un total de 17 cajas por cada metro de muro que se usarán para calcular el presupuesto.

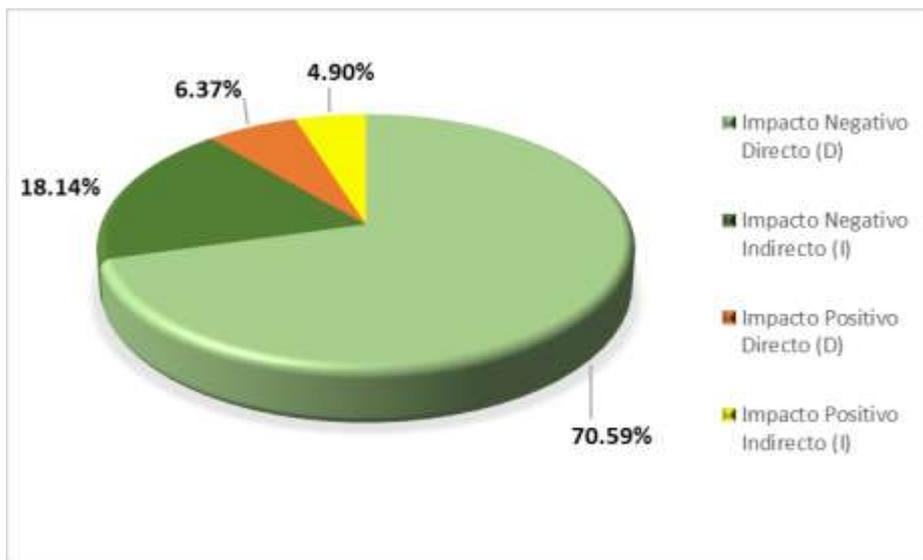
Respecto al presupuesto de la obra de gaviones ecológicos, fue dividida en 4 actividades o partidas principales con su comparación de los costos que se obtuvieron por actividad, gastos generales, utilidad e IGV. Como resultado, el armado y relleno de gavión tiene un mayor costo con un valor de S/2,771,964.8 y el de menor costo es el trazo y replanteo con un valor de S/7,425.44 como se muestra en la figura 6.

Figura 6.
Relación de los costos por cada actividad, GG, utilidad e IGV



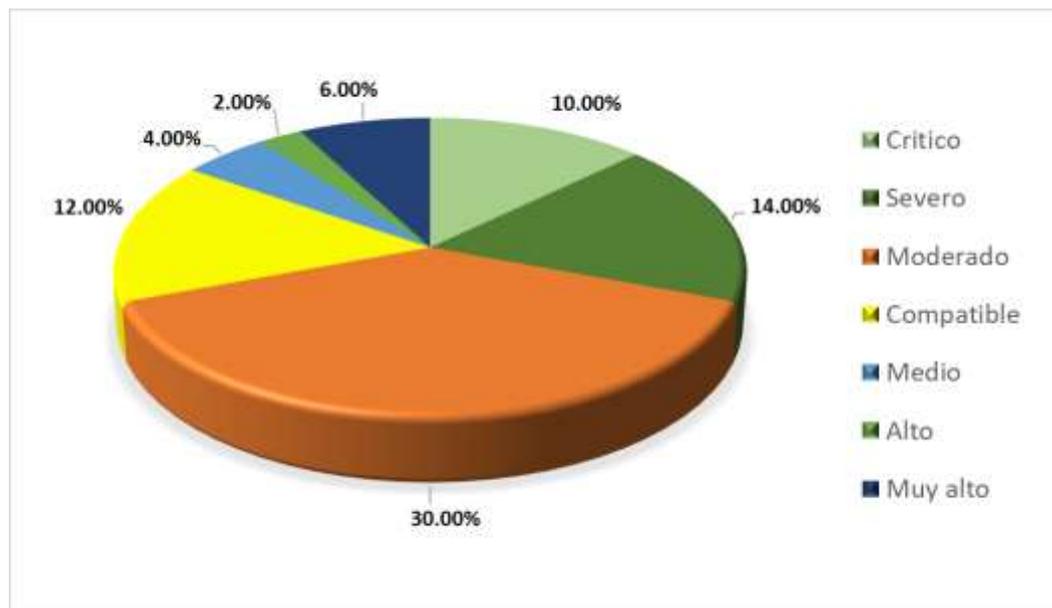
En la figura 7, se muestra el análisis cuantitativo que reflejó que el 70.59% pertenece a impacto negativo directo, mientras que el 4.9% indica a impacto positivo indirecto. Asimismo, se indica que se deberían construir muros de gaviones verdes para contrarrestar los factores negativos.

Figura 7.
Análisis cualitativo de identificación de impactos directos e indirectos



En la figura 8, se muestra el análisis cuantitativo que reflejó que el 30% pertenece a moderado, mientras que el 2% corresponde a alto. Estos valores se interpretan como un impacto medio, el cual debe tener medidas preventivas que ayuden a reducir y recuperar zonas afectadas por la construcción de gaviones tradicionales.

Figura 8.
Análisis cuantitativo



Los muros verdes forman parte de una construcción bioclimática; en este caso, se debería realizar la obra del muro de gavión y tener una fachada llena de vegetación, la cual brinda los siguientes beneficios [16]:

- Purificación del aire: las plantas ayudan a filtrar partículas del aire y convierten el CO₂ en oxígeno.
- Reducción de la temperatura del ambiente: las plantas absorben la luz solar, el 50% se absorbe y reflejan el 30%; esto ayuda a crear un clima más frío y agradable.
- Favorece el paisajismo del lugar.

4. Conclusiones

Se obtuvo el caudal máximo para el periodo de retorno de 140 años, que fue de 1379.63 m³/s.

La determinación de la altura del muro de gavión se llevó a cabo mediante procesos estadísticos y modelos matemáticos. Dentro de este análisis, el año 1967 se destacó, marcado por un caudal máximo excepcional de 1202.58 m³/s en el mes de febrero, atribuido al fenómeno del Niño. Este evento climático, siendo el principal factor influyente, incidió significativamente en el diseño del muro. Como resultado de esta evaluación detallada, se estableció una altura óptima de 8.0 metros para el muro de gavión, lo que demuestra la importancia de considerar eventos extremos en el diseño para garantizar una defensa ribereña efectiva y resiliente frente a condiciones hidrológicas excepcionales.

Se realizó el levantamiento topográfico con la ayuda de cartas nacionales del río Matagente de 5.00 km lineales aguas abajo para obtener las curvas de nivel cada 2 metros y, de esa forma, visualizar las secciones del río. Se obtuvo la cota máxima de la superficie de 75 m.s.n.m, una cota mínima de 68.04 m.s.n.m, y pendiente promedio de la superficie de 1.4%.

Se obtuvieron resultados satisfactorios para las solicitudes de esfuerzos en condiciones dinámicas de la estructura. Además, se realizó un presupuesto base de los muros de gaviones y se obtuvo un precio final de construcción de S/.6.699.633,85 soles (Seis millones seiscientos noventa y nueve mil seiscientos treinta y tres con 85/100).

5. Referencias bibliográficas

- [1] Ministerio de Ambiente. El fenómeno EL NIÑO en el Perú. 1era Edición. Lima; 2014.
- [2] Agencia de Cooperación Internacional del Japón, “Estudio Básico de la Demanda de Control de Inundaciones en la República del Perú”, 2017, Estudio Básico de la Demanda de Control de Inundaciones en la República del Perú, Perú, Autoridad Nacional del Agua.
- [3] Palomino, C & Vinatea, B. “Evaluación de la defensa ribereña mediante muros de contención de concreto reforzado con la adición de fibras de plástico reciclado contra inundaciones en el sector de Cuspanca y la quebrada Acopaya, Huarochirí – Lima”. Repositorio Académico UPC. Disponible en: https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/668416/Palomino_SC.pdf?sequence=17&isAllowed=y
- [4] Instituto Geofísico del Perú, “Análisis y evaluación histórica del fenómeno el niño en lima metropolitana: un aporte a la gestión del riesgo de desastres”, Ministerio del Ambiente, Lima - Perú, Informe Técnico N°027-2022/IGP ciencias de la tierra sólida, agosto de 2022.
- [5] Autoridad Nacional del Agua, “Delimitación de la Faja Marginal del Río Matagente”, Ministerio de Agricultura, Lima - Perú, Resumen Ejecutivo, 1999.

- [6] Autoridad Nacional del Agua, “Informe de estimación por peligro inminente limpieza, descolmatación y conformación de dique con material propio, en ambas márgenes del río Matagente, sector Chacarilla, distrito el Carmen, provincia de Chincha, departamento de Ica”, Ica - Perú, 2023.
- [7] Santana H. & Lima P., “Propuesta de obra para el control de inundaciones en la cuenca baja del río Portoviejo, sector el Horcón - Ceibal, cantón Rocafuerte - Manabí – Ecuador”, *Polo Del Conoc.*, vol. 6, n.º 9, agosto de 2021.
- [8] C. Martínez, “Muro de contención tipo gavión con botellas plásticas PET rellenas de residuos de construcción y demolición.”, Trabajo de Grado, Fund. Univ. Juan Castanos, Tunja, 2020.
- [9] Gobierno del Perú, "Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI," Accedido el 26 de noviembre de 2023. Disponible en: <https://www.gob.pe/inei/>
- [10] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Manual de hidrología, hidráulica y drenajes” Accedido el 26 de noviembre del 2023. Disponible en: <https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Octubre/10/RD-20-2011-MTC-14.pdf>
- [11] “Inicio - Instituto CAPECO Líderes en Construcción”. Instituto CAPECO. Accedido el 28 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://capeco.edu.pe/>
- [12] Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. “GEOCATMIN”. GEOCATMIN. Disponible en: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- [13] “Cálculo de Socavación General en Ríos”, Cálculo de Socavación General en Ríos - Fórmula de Lacey.
- [14] G. Gustavo Pinto, *GAWAC 3.0 User Guide Manual*, vol. 1. MACCAFERRI Eng. better solution, 2021.
- [15] *Metodología para el Cálculo de las Matrices Ambientales*. (2015, enero). Hidroar S.A. Disponible en: <https://www.ambiente.chubut.gov.ar/wpcontent/uploads/2015/01/-Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>
- [16] *Beneficios de los muros vegetales en las ciudades*. (s.f.). Energía y medio ambiente - Todo sobre energías renovables y sociedad. Disponible en: <https://www.energia-medioambiente.com/beneficios-de-los-muros-vegetales-en-las-ciudades/>

Trayectoria académica

Manuel Alejandro Custodio Salas

Estudiante del curso Taller de Obras Hidráulicas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Perú.

Autor corresponsal: manuel.custodio@urp.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-7653-7662>

Lucy Gabriela Ayala Prado

Estudiante del curso Taller de Obras Hidráulicas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Perú.

201720430@urp.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0007-9557-5155>

Óscar Rojas Hernández

Estudiante del curso Taller de Obras Hidráulicas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Perú.

201810484@urp.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0004-7163-9191>

Percy Raúl Castro Vásquez

Estudiante del curso Taller de Obras Hidráulicas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Perú.

percy.castro@urp.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0002-0759-0456>

Gustavo Antezana Quiroz

Estudiante del curso Taller de Obras Hidráulicas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Perú.

gustavo.antezana@urp.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0004-5508-8473>

Maiquel López Silva

Profesor del curso de Taller de Obras Hidráulicas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Perú.

maiquel.lopez@urp.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-0946-6160>

Contribución de autoría

Manuel Alejandro Custodio Salas: Recolección de datos.

Lucy Gabriela Ayala Prado: Análisis y procesamiento de datos.

Óscar Rojas Hernández: Procesamiento de datos.

Percy Raúl Castro Vásquez: Interpretación de datos.

Gustavo Antezana Quiroz: Modelamiento y análisis estadístico.

Maiquel López Silva: Escritura y edición del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el desarrollo de la presente investigación.

Responsabilidad ética y legal

El desarrollo de la investigación se realizó bajo la conformidad de los principios éticos del conocimiento, respetando la originalidad de la información y su autenticidad.

Declaración sobre el uso de LLM (Large Language Model)

Este artículo no ha utilizado para su redacción textos provenientes de LLM (ChatGPT u otros).

Financiamiento

La presente investigación ha sido realizada con recursos propios de los coautores de la investigación.

Agradecimiento

Agradecimiento a la Facultad de Ingeniería de la URP.

Correspondencia: manuel.custodio@urp.edu.pe