

DETERMINACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A INUNDACIÓN CON HEC-RAS EN EL TRAMO POBLADO DEL RÍO CAPLINA, TACNA
DETERMINATION OF AREAS VULNERABLE TO FLOODING WITH HEC-RAS IN THE POPULATED SECTION OF THE CAPLINA RIVER, TACNA

Autores: ¹Cristhian Gómez Alanoca, ²Tadeo Quispe Cáceres, ³Diego Carpio Oberti y ⁴Katheline Rejas Céspedes, ⁵Sugy Huanca Ramos.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6628-2470>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-1267-089X>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8987-1530>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2439-7106>

⁵ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3183-5357>

¹E-mail de contacto: cfgomeza@unjbg.edu.pe

²E-mail de contacto: tquispec@unjbg.edu.pe

³E-mail de contacto: dcarpio@unjbg.edu.pe

⁴E-mail de contacto: krejasc@unjbg.edu.pe

⁵E-mail de contacto: shuancar@unjbg.edu.pe

Afiliación: ^{1*2*3*4*5*}Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 26 de junio del 2025

Artículo revisado: 27 de junio del 2025

Artículo aprobado: 12 de julio del 2025

¹Estudiante en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

²Estudiante en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

³Estudiante en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

⁴Estudiante en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

⁵Estudiante en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Resumen

El río Caplina, se encuentra en la zona sur del Perú, en el departamento de Tacna, presenta riesgo de desbordamiento e inundación a causa de las lluvias esporádicas pero fuertes, vinculadas al fenómeno de El Niño. El propósito de esta investigación es detectar las zonas susceptibles a inundaciones a lo largo de la zona poblada del río mediante el uso del software HEC-RAS. A través de la combinación de información hidrológica y topográfica, se modeló la conducta hidráulica del río Caplina en diferentes situaciones de caudal. Los datos esenciales incluyen modelos de elevación digitales (DEM), coeficientes de rugosidad de Manning y información histórica de flujos de agua de estaciones hidrometeorológicas. Los hallazgos subrayan que las zonas más susceptibles se agrupan en los sectores inferiores del río, especialmente en los distritos densamente poblados de Pachía y Calana. Las simulaciones con HEC-RAS revelaron que estas zonas presentan un mayor riesgo de inundación debido a su menor elevación en relación con el cauce principal del

río. Mediante este artículo demostramos la utilidad de HEC-RAS en la evaluación del riesgo de inundaciones, proporcionando información geométrica de un área inundada a causa del aumento de caudal y las avenidas con un área de inundación de 1.233 km² que se desborda del cauce principal del río.

Palabras clave: Río Caplina, HEC-RAS, Riesgo de inundación, Modelamiento hidráulico, Simulación de inundación.

Abstract

The Caplina River, located in the southern part of Peru, in the department of Tacna, presents a risk of overflowing and flooding due to sporadic but strong rains, linked to the El Niño phenomenon. The purpose of this research is to detect flood-susceptible areas along the populated area of the river by using the HEC-RAS software. Through the combination of hydrological and topographic information, the hydraulic behavior of the Caplina River was modeled in different flow situations. Essential data include digital elevation models (DEM), Manning roughness coefficients, and historical water flow

information from hydrometeorological stations. The findings highlight that the most susceptible areas are grouped in the lower sectors of the river, especially in the densely populated districts of Pachía and Calana. Simulations with HEC-RAS revealed that these areas present a greater risk of flooding due to their lower elevation in relation to the main channel of the river. Through this article we demonstrate the usefulness of HEC-RAS in flood risk assessment, providing geometric information of an area flooded due to increased flow and floods with a flood area of 1,233 km² that overflows the main channel of the river.

Keywords: Caplina river, HEC-RAS, Flood Risk, Hydraulic modeling, Flood simulation.

Sumário

O Rio Caplina, localizado no sul do Peru, no departamento de Tacna, corre risco de transbordamento e inundações devido a chuvas esporádicas, porém intensas, associadas ao fenômeno El Niño. O objetivo desta pesquisa é identificar áreas propensas a inundações ao longo da zona povoada do rio usando o software HEC-RAS. Combinando informações hidrológicas e topográficas, o comportamento hidráulico do Rio Caplina foi modelado sob diferentes condições de fluxo. Os principais dados incluem modelos digitais de elevação (MDEs), coeficientes de rugosidade de Manning e informações históricas de fluxo de estações hidrometeorológicas. Os resultados destacam que as áreas mais suscetíveis se concentram nos cursos inferiores do rio, especialmente nos distritos densamente povoados de Pachía e Calana. As simulações HEC-RAS revelaram que essas áreas correm maior risco de inundações devido à sua menor elevação em relação ao canal principal do rio. Neste artigo, demonstramos a utilidade do HEC-RAS na avaliação de risco de inundações, fornecendo informações geométricas sobre uma área inundada por aumento de vazão e inundações, com uma planície de inundação de 1.233 km² transbordando o canal principal do rio.

Palavras-chave: Rio Caplina, HEC-RAS, Risco de inundação, Modelagem hidráulica, Simulação de inundação.

Introducción

El río Caplina se encuentra ubicado en la zona sur del Perú, específicamente en la provincia y región de Tacna, donde su extensión comprende los distritos de Palca, Pachía, Calana, Pocollay, Ciudad Nueva, Alto de la Alianza, Gregorio Albarracín y Tacna (Peña et al., 2009), se caracteriza por un entorno geográfico particular, situado en pleno desierto de Atacama, una de las áreas más secas del planeta (Pino et al., 2017). A pesar de esta extrema aridez, las lluvias ocasionales, a menudo vinculadas al fenómeno de El Niño, pueden generar inundaciones repentinas, las cuales impactan tanto las infraestructuras como las zonas agrícolas del río. Desde una perspectiva ambiental, el río Caplina enfrenta desafíos no sólo en términos de gestión de riesgos, sino también en la preservación de sus ecosistemas. Las inundaciones pueden causar graves daños al entorno natural, acelerando procesos de erosión, destruyendo la cobertura vegetal y afectando los hábitats críticos de la fauna local (Pino et al., 2017).

En la actualidad, las zonas habitadas se han visto en constante crecimiento con dirección a zonas ribereñas que están expuestas a los peligros ante las crecidas del caudal del río Caplina (Santos et al., 2021). Además, otras problemáticas como la extracción impropia de agregados en distintas zonas del cauce del río, como el acopio de basura, desmontes, y otro tipo de residuos ha originado que el cauce del río se vea alterado (Santos et al., 2021). Dado este panorama, es fundamental identificar las áreas susceptibles a inundaciones para implementar medidas de manejo y reducción de riesgos (Castro et al, 2021). La determinación de zonas inundables es un proceso esencial para

la planificación territorial y la gestión de riesgos en regiones vulnerables a eventos hidrológicos extremos (Gutiérrez, 2022). En el caso del río Caplina, esta tarea adquiere una relevancia especial debido a las características únicas del terreno y las limitadas precipitaciones, que hacen que las inundaciones sean poco frecuentes, pero altamente destructivas (Pino et al., 2017). El uso de herramientas como HEC-RAS es fundamental para modelar el comportamiento hidráulico del río, analizar su capacidad de drenaje y prever cómo el flujo de agua interactúa con la infraestructura y el entorno natural (García et al., 2023). Este software permite simular de manera detallada los eventos de inundación, brindando a los ingenieros datos precisos para diseñar soluciones que mitiguen el impacto sobre infraestructuras urbanas y rurales, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas y a la protección de las comunidades locales (Rafael et al., 2022). El uso de HEC-RAS para la determinación de zonas inundables no solo permite identificar áreas vulnerables desde un punto de vista hidrológico, sino también diseñar estrategias que minimicen el impacto ambiental. Esto es crucial para mantener el equilibrio ecológico en una región que ya enfrenta problemas de escasez hídrica y degradación del suelo. (Quiroga, 2016). Como propósito de este artículo se plantea determinar vulnerables a inundaciones con HEC-RAS en el tramo poblado del río Caplina, Tacna, mediante el análisis de las características topográficas, geológicas y el comportamiento histórico del río Caplina y modelar el comportamiento hidrológico del río Caplina bajo una anomalía de flujo en temporadas de avenidas.

Materiales y Métodos

Este estudio realizado tiene en concreto dos procedimientos, el primero es una revisión

cuantitativa con datos estadísticos y bibliográficos a los datos históricos de los caudales máximos registrados en el río Caplina en conjunto a los parámetros geomorfológicos, además de los desastres de inundación ocasionados por el desbordamiento del río Caplina. El segundo consta de tomar los datos encontrados y realizar un modelamiento hidráulico con el software HEC-RAS para poder obtener un mapa de las áreas específicas con peligro de inundación por el aumento del caudal del río dado a las precipitaciones registradas históricamente. El presente estudio es experimental de un modelo hidráulico, realizando simulaciones de casos hipotéticos sobre variaciones en el aumento en el caudal del río y él generando inundaciones. Se realiza una representación de modelado 2D en los casos de la cuenca implementando las variables de entrada que se obtienen de datos estadísticos. La población de estudio implicada es la población presente en las riberas del río Caplina, comprendido por los distritos de Calana, Pachía y Tacna, además implica parte de la cuenca Uchusuma, puesto que este río converge con el río. La cuenca hidrográfica del Caplina se encuentra ubicado en la zona sur del PERÚ, Alcance y Ubicación específicamente en la provincia y región de Tacna, la extensión de la cuenca comprende los distritos de Palca, Pachía, Calana, Pocollay, Ciudad Nueva, Alto de la Alianza, Gregorio Albarracín y Tacna (Peña, y Acosta, 2009; Alcántara y Castro, 2021; Bharath et al., 2021; Desalegn y Mulu, 2021).

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, centrado en el análisis de datos hidrológicos y el modelado hidráulico para evaluar el riesgo de inundaciones. Se empleó una revisión estadística y bibliográfica para recolectar información hidrológica histórica del río Caplina, seguida por la simulación de

escenarios de inundación utilizando el software HEC-RAS, complementado con HEC-GeoRAS. El tipo de Investigación utilizado para este es un estudio aplicado, orientado a generar conocimiento práctico para la gestión de riesgos de inundaciones. El objetivo es modelar las áreas de mayor riesgo de inundación mediante el uso de herramientas computacionales especializadas en hidráulica fluvial, como el HEC-RAS y el HEC-GeoRAS. La población de estudio es la cuenca hidrográfica del río Caplina, localizada en la región de Tacna, Perú. Los datos hidrológicos utilizados fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas automáticas de Jorge Basadre, Calana, Calientes y Palca, además de reportes de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).



Figura 1. Ubicación de la cuenca Caplina del río Caplina

Para realizar un modelo hidráulico, uno de los requisitos básicos con la que se debe contar es con la geometría del río (Bharath et al., 2021; Desalegn y Mulu, 2021). El modelo de elevación digital (DEM) es de los datos esenciales para los modelos hidráulicos (Phyo et al., 2023). El DEM es transformado en una

red irregular de triangulación (TIN) para de esa manera obtener los datos de la geometría del río, cuenca, precipitación y corregido con el coeficiente escorrentía, la pendiente del río (Bharath et al., 2021). Para este trabajo se hace uso de DEM para de esa manera convertirlo en un TIN y obtener los datos de la geometría de la cuenca Caplina. Es fundamental los datos hidrológicos como el caudal del río Caplina, además del coeficiente de rugosidad de Manning (Alcántara y Castro, 2021). Los datos de caudal máximo son indispensables como archivos de entrada para el modelado en HEC-RAS (Ibrahim et al., 2023; Alcántara y Castro, 2021). Los coeficientes de rugosidad de Manning se seleccionan dependiendo de la función y composición del suelo, además de la cobertura del suelo (Bharath et al., 2021). Los datos o valores del coeficiente de rugosidad de Manning para canales y llanuras de inundación son diferentes, la primera está compuesta por rocas y cantos rodados y la segunda mayormente por sedimentos, más finos, y varían de 0,012 a 0,027 y de 0,01 a 0,07 (Ibrahim et al., 2023). Para este estudio los datos hidrológicos del caudal se obtuvieron de las estaciones meteorológicas automáticas de Jorge Basadre, Calana, Calientes y Palca, además de ser complementadas con los reportes de parte de la autoridad nacional del agua (ANA). El coeficiente Manning es obtenido dado a las condiciones del río Caplina durante todo su cauce que es mayormente en cantos rodados y arena. presentando un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.035 (Villón, 2011).

El HEC-RAS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, la cual se usa de manera libre y gratuita y se realizan actualizaciones de manera constantes, este se hace uso para realizar análisis a mapas de inundaciones (Alcántara y Castro, 2021; Desalegn y Mulu, 2021; Tamiru y Dinka, 2021).

Además, permite visualizar las avenidas en inundaciones de manera dinámica y rápida (Hernández et al., 2017). El HEC-RAS es un programa informático programado para realizar simulaciones en el ámbito de la hidráulica del flujo de agua a en medios como ríos naturales y otros canales. (Desalegn y Mulu, 2021). El HEC-GeoRAS es una extensión que permite exportar los datos del Arcgis al HEC-RAS, procesar datos geoespaciales, además de realizar mapeos de llanuras de inundaciones y generar datos geométricos (Bharath et al., 2021; Desalegn y Mulu, 2021; Ibrahim et al., 2023). En este estudio, con los datos obtenidos de la geometría de la cuenca Caplina con el DEM, el TIN y su visualización, se realizan y editar polilíneas para el cauce principal del río, los márgenes del río, tanto del lado izquierdo y del derecho y la dirección de flujo, luego se procesó en el HEC-GeoRAS para obtener las secciones transversales del río, con una longitud de separación de 800 m y cada sección transversal con una medida de 500 m (250 para el lado derecho del cauce principal y 250 para el lado izquierdo).

La data creada fue exportada al HEC-RAS mediante la extensión de HEC-GeoRAS, y dentro del HEC-RAS se digitalizaron las secciones transversales con el coeficiente de rugosidad 'n' de Manning, los cuales se obtienen con una visualización y dado a la composición del lecho del río, ello dado que la composición de un río no varían mucho durante todo su cauce, para el río Caplina el coeficiente de Manning es de 0.032 (Villón, 2011), a continuación se insertan los valores de caudal máximos y la pendiente de la cuenca. Luego del procesamiento se exportó al archivo a ArcMap para poder observar y obtener el ráster del mapa de inundaciones. El estudio siguió las directrices éticas en cuanto al uso responsable de datos geográficos e hidrológicos. No se

identificaron criterios de exclusión relevantes, aunque las limitaciones incluyen la disponibilidad de datos históricos precisos y la incertidumbre en las proyecciones de precipitación futura.

Resultados y Discusión

Geomorfología del río Caplina

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca Caplina y en consecuencia, del río Caplina, son tomados del ministerio de agricultura y el instituto geofísico del Perú, donde se observan un pendiente promedio del cauce principal del río Caplina, el coeficiente de rugosidad de Manning de 0.035 y 0.027 para el cauce principal y el lecho del río respectivamente, la precipitación y la evapotranspiración, además del caudal promedio histórico registrado en el SENAMHI, en la estación Challata, además de un caudal máximo de avenidas de 50 años que es un valor muy elevado considerando las condiciones climáticas y los parámetros geomorfológicos de la cuenca Caplina, que está ubicado en una zona árida, que es un valor de 35 m³/s (Tabla 1).

Tabla 1. *Parámetros geomorfológicos del río Caplina y su cuenca*

Parámetro	valor
Pendiente (%)	4.10
Precipitación	129.05
coeficiente de manning (mm/año)	0.035; 0.027
Evapotranspiración (mm/mes)	113
Caudal (m ³ /s)	5.15
Máxima avenida en 50 años (m ³ /s)	35

Fuente: elaboración propia

En el sitio web del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) encontramos el monitoreo hidrológico en la estación Challata donde se registran los caudales por hora y por día, entre los años 2023 al 2025, y el caudal máximo registrado es para la fecha de 8 de febrero con un promedio histórico de 5.15 m³/s (figura 2). El caudal promedio histórico para el 8 de febrero es de 5.15 m³/s, mismo que es el máximo

registrado en el tiempo. El río principal o cauce principal del río Caplina es necesario dividirla en tres tramos de similar longitud del río Caplina para aumentar la precisión, haciendo énfasis en la zona poblada del río, además para la agilización de la simulación de inundaciones del río Caplina. Además, muestra la red irregular de triangulación (TIN) de la cuenca del río Caplina, derivada de las curvas de nivel extraídas del instituto geográfico nacional. El TIN nos permite observar la geometría de la cuenca Caplina, dato primordial para las secciones transversales por la cual se observa las irregularidades del río.



Figura 2. Hidrograma del caudal del río Caplina en la estación Challata

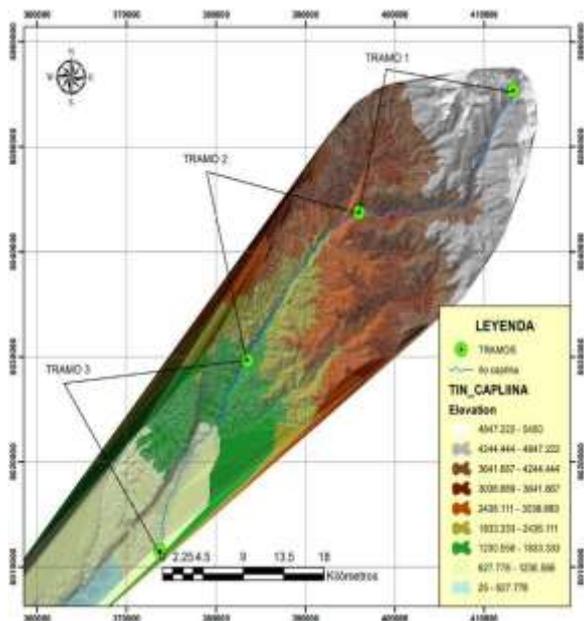


Figura 3. Tramos y red irregular de triangulación (TIN) de la cuenca del río Caplina

Cada tramo está compuesto por dos puntos, y cada punto tiene sus coordenadas, tal como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas UTM de los tramos

Tramo	Punto	Coord. x	Coord. y
Tramo 1 = p1-p2	P1	413221	8055318.082
Tramo 2=p2-p3	P2	395992	8043734.42
Tramo 3=p3-p4	P3	383512	8029665.506
	P4	374121	8013236.264

Fuente: elaboración propia

Simulación de inundación

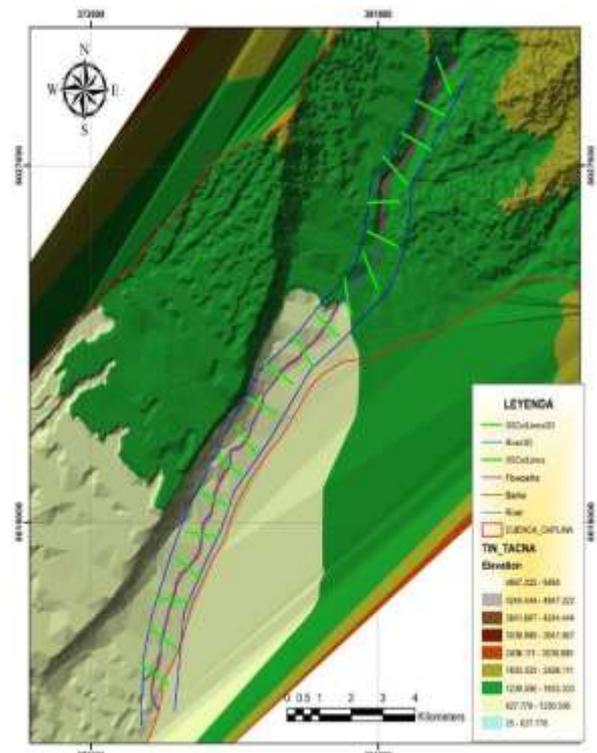


Figura 4. Secciones transversales del río Caplina

Con el uso del software ArcMap mediante la herramienta Hec-GeoRAS podemos crear y observar el cauce principal del río los márgenes del río principal, las direcciones de flujo y las secciones transversales a lo largo de los tramos 2 y 3 del río Caplina, estas secciones transversales se encuentran a 1 km de distancia entre ellos y de ancho tienen la

misma longitud de 1 km, esto debido a que si colocamos una menor distancia estas líneas se llegan a superponer en algunas sectores, generadas con las banks lines, stream centerline, flow paths, además del río en 3D. Las secciones transversales se crean con la información del TIN (Figura 4). El software Hec-GeoRAS, nos permite exportar los datos obtenidos en la figura 3 a una data que puede ser trabajada en el HEC-RAS, tanto el río principal y las secciones transversales proporcionando una visualización en 2D de las líneas teniendo en cuenta su nivel de elevación. En el HEC-RAS se inserta en valor de manning para el río Caplina, siendo para el cauce principal un valor de 0.032 y para los márgenes del río un valor de 0.027 (Figura 5).

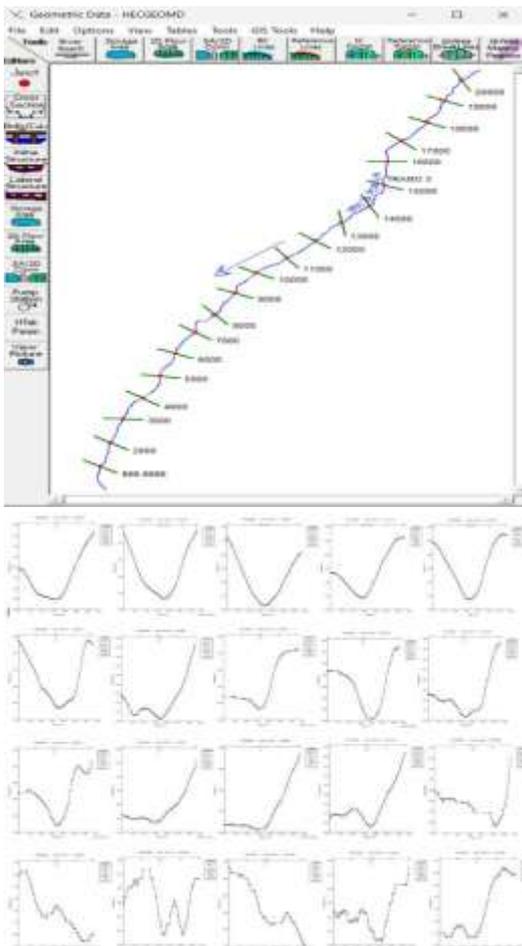


Figura 5. Exportación de las secciones transversales al HEC-RAS

El proceso de simulación, con el uso de software HEC-RAS permite observar las zonas con mayor probabilidad de sufrir inundación debido a los flujos inestables del río Caplina en el mes de febrero en los tramos 2 y 3 (Figura 6). Las zonas que se identifican corresponden a las zonas más pobladas aledañas al río Caplina en la parte final del río correspondientes al distrito de Pachía y Calana.



Figura 6. Mapa de inundación de HEC-RAS

En la figura 7 observamos las secciones transversales con mayor riesgo de inundación, las últimas 6 secciones tienen mayor riesgo de inundación y se observa que es una anomalía de la geometría del río genera un desbordamiento en el cauce principal del río, ello derivado de la geometría del canal principal, ello se observa con mayor detalle en la sección transversal 3000, mismo que se observa también en la figura 6, Dicho desbordamiento se genera gracias al desnivel que existe entre el cauce principal y la zona inundada que se encuentra por debajo del cauce principal, generando dicho desborde. Las secciones transversales con el mismo riesgo son la 6000, 5000 y la 4000 que representa una inundación más extensa.

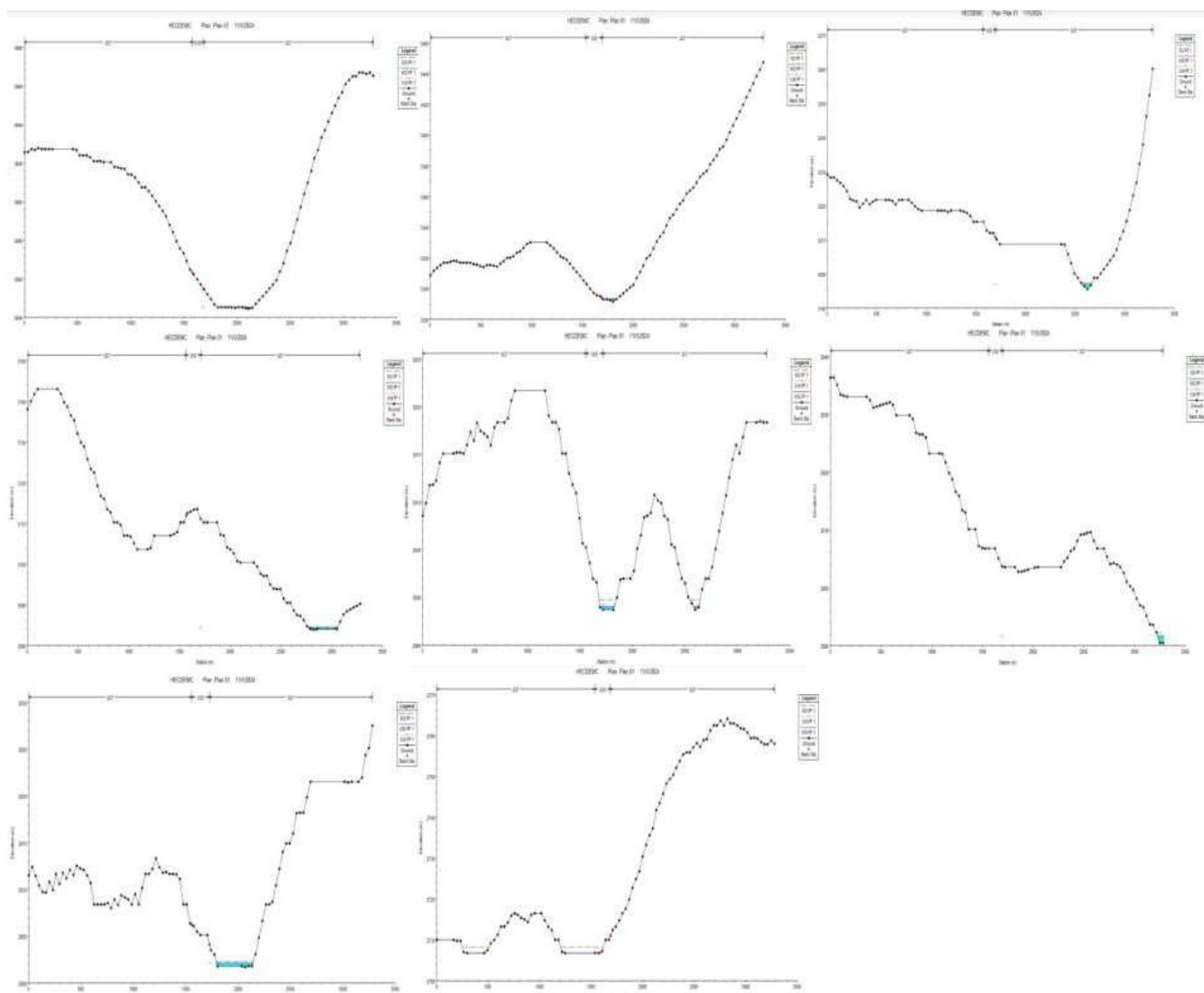


Figura 7. Secciones transversales (12000, 11000, 6000, 5000, 4000, 3000, 2000, 999.999) propensas a inundaciones

El caudal en épocas de avenidas es de 35 m³/s, con ese dato también se simula la inundación, con ello se observa que en las mismas secciones transversales la probabilidad de inundación es la misma, pero con un volumen de agua mayor como es de esperarse. La penúltima sección transversal presenta una mayor cantidad de agua, una longitud aproximada de 400 pies que en el sistema métrico es 122 m y con una profundidad aproximada de 24 m. Existen también, en las secciones transversales 4000 y 999.999, una separación de la inundación, ello por la causa de la geometría del río y sus riberas, donde las

zonas más profundas se encuentran fuera del cauce principal del río, provocando una desbordamiento en dos secciones diferentes, el volumen de agua es menor al de la sección transversal 2000. La imagen muestra que en las zonas bajas del río caplina hay un desbordamiento provocando inundaciones, mismas que hacen que el flujo de agua salga del cauce principal del río, ello provocado por la geomorfología del río, mostrado también en la figura 8, existen zonas más bajas que el cauce principal del río (figura 9). La inundación se observa en los distritos de Pachía y Calana. El área de inundación

calculada para la época de avenidas es de 1.233 km², y el área con el caudal promedio es de 0.932 km². Como era de esperarse el área de inundación para la avenida de 50 años es mayor al del caudal promedio, pero cabe

mencionar que el área extensa de 4000 y última sección transversal es por la separación del cauce principal del río, ello mostrado en la figura 8.

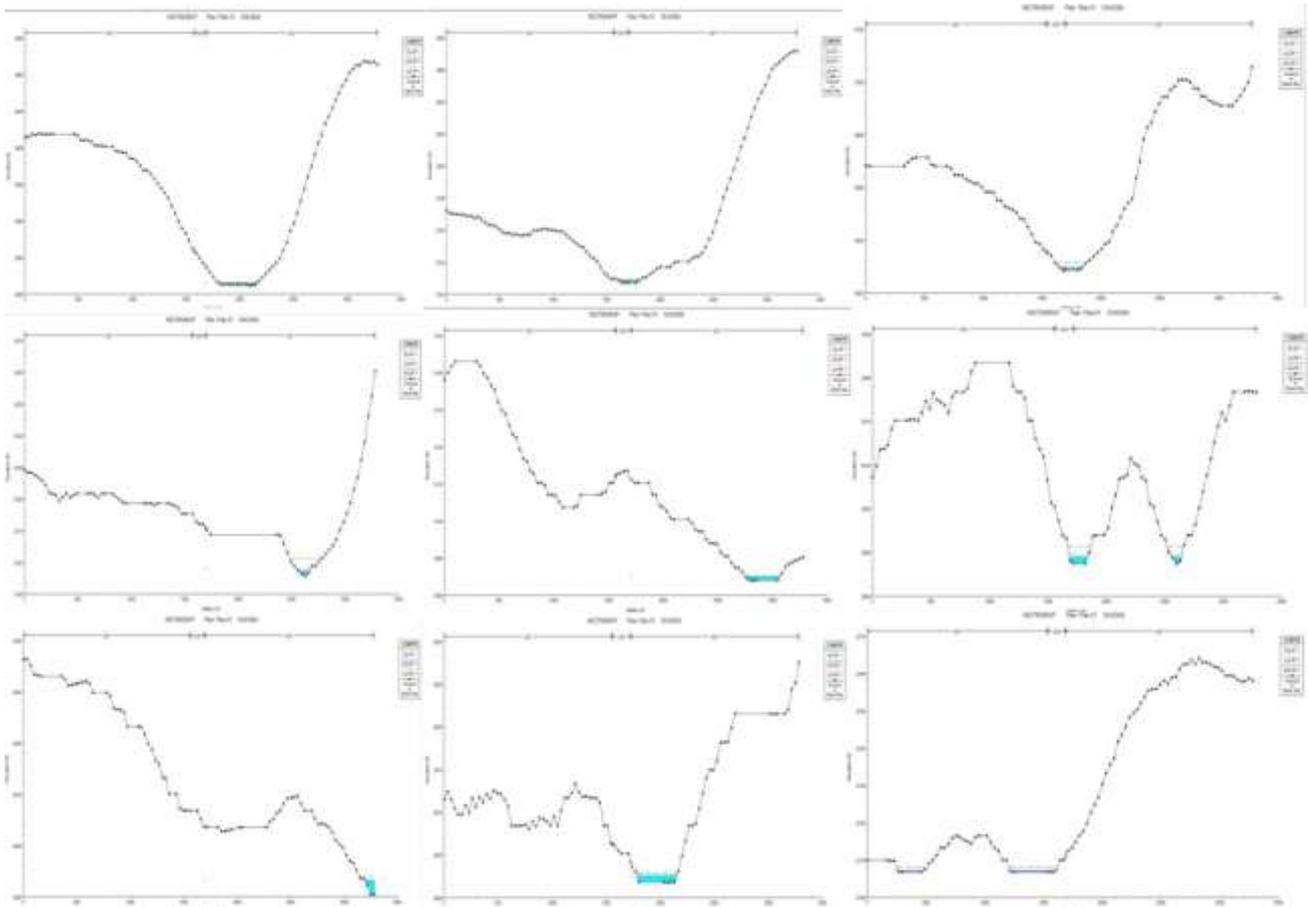


Figura 8. Secciones transversales (12000, 11000, 6000, 5000, 4000, 3000, 2000, 999.999) propensas a inundaciones en épocas de avenidas de 50 años

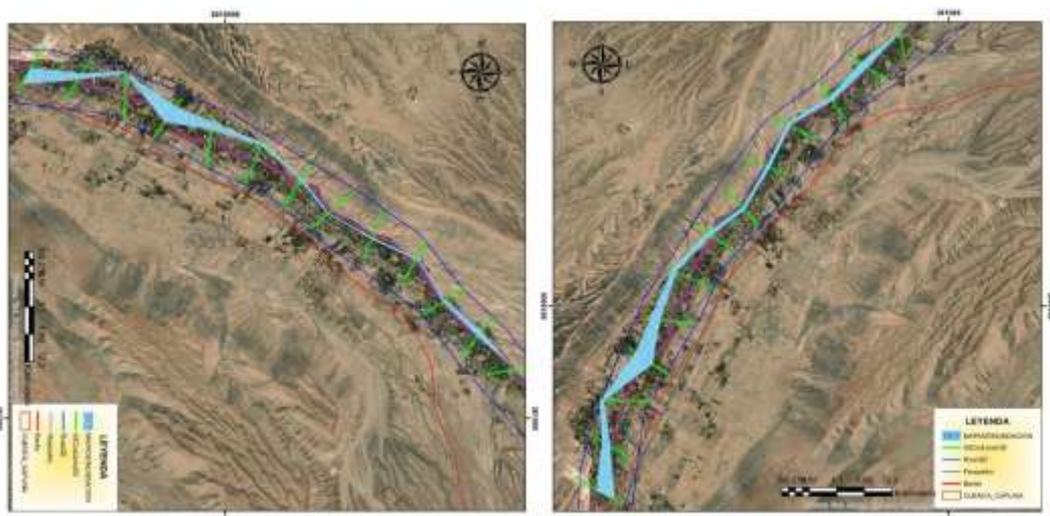


Figura 9. Mapa de inundación del río Caplina en caudal promedio y caudal de avenida

Las áreas que se inundan por desbordamiento se llevan a cabo en el momento en el que la superficie del río supera el nivel de terreno (Desalegn y Mulu, 2021), en este estudio se observa el fenómeno de inundación mencionado por Desalegn y Mulu, mismos que se observan en la figura 8, Secciones transversales (12000, 11000, 6000, 5000, 4000, 3000, 2000, 999.999) propensas a inundaciones, donde se observan las secciones transversales y como el cauce del río principal está por encima de las zonas inundadas. Gracias al HEC-RAS podemos realizar un modelado bajo escenario diferentes en las condiciones del río, como la rugosidad de manning, la pendiente del río, el caudal, mismas que nos permiten realizar medidas de mitigación (Ibrahim et al., 2023). Para este estudio se realizaron los modelados con los parámetros del río, obtenidas en INGEMMET (Peña et al., 2009), el caudal del río se obtuvo de la estación hidrometeorológica de CHALLATA ubicada sobre el río Caplina (figura 2), además del ministerio de agricultura que proporciona el dato de máxima avenida.

Conclusiones

Las áreas del río Caplina identificadas como inundables mediante el software HEC-RAS corresponden a las secciones transversales 12000, 11000, 6000, 2000 y 999.999, y en las secciones transversales 3000, 4000, 5000 presentan la mayor zona de inundación ubicadas en las zonas pobladas de los distritos de Pachía y Calana, en Tacna. Esto se explica por la menor elevación de estas áreas en relación con el cauce principal del río, lo que genera desbordamientos cuando el nivel del agua excede su capacidad. Los modelos desarrollados con HEC-RAS, basados en datos de caudal obtenidos de la estación hidrometeorológica de Challata y parámetros

proporcionados por INGEMMET, corroboran la alta vulnerabilidad de estas zonas frente a inundaciones. Esto resalta la necesidad de aplicar medidas de mitigación considerando factores como la rugosidad, la pendiente y el caudal del río. El modelamiento permite demostrar que las áreas más susceptibles a desbordamientos se encuentran en el tramo bajo del río Caplina, donde la morfología del terreno favorece flujos inestables y que en las zonas altas o medias la presencia de zonas inundables es escasas o nulas. Los resultados mostrados demuestran la efectividad del HEC-RAS para anticipar y representar áreas de riesgo de inundaciones, facilitando la toma de decisiones para la prevención y control de las zonas inundables mediante el diseño de estrategias para reducir los impactos causados.

Referencias Bibliográficas

- Alcántara, A., & Castro, A. (2021). Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Saraus-río La Llanga. Celendín. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 181-187.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19852>
- Bharath, A., Shivapur, A. V., Hiremath, C. G., & Maddamsetty, R. (2021). Dam break analysis using HEC-RAS and HEC-GeoRAS: A case study of Hidkal dam, Karnataka state, India. *Environmental Challenges*, 5, 100401.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100401>
- Castro, R., Tavera, H., & Bejarano, I. (2021). *Análisis y evaluación histórica de lluvias en la Región Tacna*.
<https://repositorio.igp.gob.pe/server/api/core/bitstreams/cf10ac6f-4e0d-4e9c-9ea7-4e5ca7b6e00c/content>
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12,

- e00834. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
- García, P., Alatorre, L., & Bravo, L. (2023). Modelos de escorrentía superficial en la última década. Una revisión bibliográfica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7726-7750. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5001
- Gutiérrez, A. (2022). Conceptos para gestión de inundaciones en la región LAC, modelación e hidrología de extremos. *Aqua-LAC*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2022-v14-1-01>
- Hernández, R., Barrios, H., & Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Ibrahim, O., Goshime, D., Gebrekirtos, S., & Absi, R. (2023). Panacea to the catastrophe through mapping in anticipation of mitigating the flood magnitude along Wabi Shebele River Basin of Somalia. *Natural Hazards Research*. 4(2), 336-346. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.001>
- Peña, f., Cotrina, G., & Acosta, H. (2009). *Hidrogeología de la cuenca del río Caplina - región Tacna. Boletín N° 1 serie H, Hidrogeología.* <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/368#files>
- Peña, C., Alvarino, N. (2016). Determinación De Áreas De Inundación en el Municipio de Chia Colombia Mediante Hec-Ras en la Cuenca Baja Del Río Frio. *European Scientific Journal* <https://doi.org/10.19044/ESJ.2016.V12N5P386>
- Phyo, A., Yabar, H., & Richards, D. (2023). Managing dam breach and flood inundation by HEC-RAS modeling and GIS mapping for disaster risk management. Case Studies. *In Chemical And Environmental Engineering*, 8, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100487>
- Pino, E., Quispe, R. L., & Jhuallanga, C. A. (2018). Nivel de riesgo por desborde e inundación aplicando un modelo de flujo de escombros en la quebrada Lluta para la mina Karla en Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, (23), 11-20. <https://doi.org/10.33326/26176033.2018.23.751>
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chávarri, E., Ascencios, D., & Mejía, J. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(6), 77-99. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>
- Quirogaa, V., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS versión 5. *Ribagua*, 3(1), 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>
- Rafael, W., Vilcherres, P., Muñoz, S., Tuesta, V., & Mejía, I. (2022). Modelamiento de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: una revisión sistemática de la literatura. *Iteckne*, 19(1), 46-60. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2645>
- Santos, I., Coaquira, E., & Vilcanqui Alarcón, A. (2021). Modelo hidráulico para delimitación de faja marginal río caplina sector seco, distrito G. albarracin, Tacna, Ingeniería Investiga, 11. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.479>
- Tamiru, H., & Dinka, M. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology Regional Studies*, 36, 100855. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855>
- Toapaxi, J., & Acero, A. (2021). Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral, Provincia de Tungurahua, Ecuador. <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n1.05>
- Villegas, P. (2020). Método del número de curva del SCS. Agua y SIG. <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>

Villón, M. (2011). En hidrología (Tercera ed., págs. 246 - 249). Lima, Perú: Editorial Villón.

Ndidi, F., Inocencio, E., & Ganiy, I. (2023). Is the existing methods sustainable? A hybrid approach to flood risk mapping. *MethodsX*, *11*, 102348.

<https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102348>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © **Cristhian Gómez Alanoca, Tadeo Quispe Cáceres, Diego Carpio Oberti y Katheline Rejas Céspedes, 5Sugey Huanca Ramos.**

