

CAPÍTULO - 30

Modelamiento de zonas inundables por efecto de caudales máximos en la parte baja de la cuenca del río Rímac

Modeling of flood zones due to peak flows in the lower part of the Rímac river basin

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.c.04.30>

Francisco Alcántara Boza

 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú
✉ falcantarab@unmsm.edu.pe
 <https://orcid.org/0000-0001-9127-4450>

Anderson Cayo Gutiérrez

 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú
✉ anderson.cayo@unmsm.edu.pe
 <https://orcid.org/0009-0004-8547-1772>

Héctor Flores Céspedes

 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú
✉ hector.floresc@unmsm.edu.pe
 <https://orcid.org/0009-0004-9310-9159>

Juan Tito Mejía

 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú
✉ juan.titom@unmsm.edu.pe
 <https://orcid.org/0009-0006-4711-7523>

Mónica Urbina Yamunaque

 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú
✉ monita.urbina@unmsm.edu.pe
 <https://orcid.org/0009-0003-4723-7005>

Francisco Velásquez Intriago

 Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Manabí – Ecuador
✉ dr.franciscovelasquezin@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-6654-6119>

Resumen

Las inundaciones constituyen uno de los principales peligros hidrológicos en la parte baja de las cuencas, especialmente en sectores donde se concentran asentamientos humanos, infraestructura y actividades económicas. La presente investigación tuvo como objetivo modelar las zonas potencialmente inundables en la parte baja de la cuenca del río Rímac, entre Chosica y el Callao, considerando caudales máximos correspondientes a periodos de retorno de 30, 50 y 100 años, así como identificar los sectores críticos de desborde. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y empleó una serie histórica de caudales del periodo 1920-2024. El modelamiento hidráulico se desarrolló mediante HEC-RAS, utilizando un modelo digital de elevación ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución, imágenes satelitales, secciones transversales, coeficientes de rugosidad de Manning y caudales



máximos estimados mediante la distribución de Gumbel. Los resultados permitieron identificar dos sectores con potencial de desborde. La mayor extensión de inundación se presentó en el tramo próximo a la desembocadura del río, en el Callao, donde la mancha alcanzó aproximadamente 6 km de recorrido y hasta 1 km de amplitud en determinados sectores. También se identificaron puntos susceptibles en el tramo medio, asociados con la configuración geomorfológica, la reducida pendiente y la ocupación urbana próxima al cauce. Se concluye que las áreas localizadas en la parte baja de la cuenca presentan mayor susceptibilidad a inundaciones, por lo que se requiere fortalecer el monitoreo hidrometeorológico, actualizar los mapas de peligro y priorizar medidas de ordenamiento territorial y prevención en los sectores críticos.

Palabras clave: caudal máximo, HEC-RAS, inundación, modelamiento hidráulico, río Rímac.

Abstract

Flooding is one of the main hydrological hazards in the lower reaches of river basins, especially in areas with high concentrations of human settlements, infrastructure, and economic activity. This research aimed to model potentially flood-prone areas in the lower Rímac River basin, between Chosica and Callao, considering peak flows corresponding to return periods of 30, 50, and 100 years, as well as to identify critical flood zones. The study employed a quantitative approach and used a historical series of flow data from 1920 to 2024. Hydraulic modeling was performed using HEC-RAS, with a 12.5 m resolution ALOS PALSAR digital elevation model, satellite imagery, cross-sections, Manning's roughness coefficients, and peak flows estimated using the Gumbel distribution. The results identified two flood-prone areas. The greatest extent of flooding occurred in the section near the river's mouth in Callao, where the floodwaters reached approximately 6 km in length and up to 1 km in width in certain areas. Susceptible areas were also identified in the middle section, associated with the geomorphological configuration, the gentle slope, and urban development near the riverbed. It is concluded that areas located in the lower part of the basin are more susceptible to flooding, making it necessary to strengthen hydrometeorological monitoring, update hazard maps, and prioritize land-use planning and prevention measures in critical areas.

Keywords: peak flow, HEC-RAS, flooding, hydraulic modeling, Rímac River.

INTRODUCCIÓN

Los eventos hidrológicos, son procesos asociados a diferentes variables del entorno: las características geomorfológicas, el tipo de recorrido, las condiciones ambientales, los ecosistemas contiguos, la variabilidad climática (cambios atmosféricos de corta temporalidad) (Ruiz et al 2023) y otro factor también importante es el cambio climático, lo que constituye uno de los principales desafíos globales de la actualidad en el análisis de ciclo hidrológico. El cambio climático está asociado a fenómenos meteorológicos principalmente (Carrillo, 2022) de oscilación más allá de 20 o 30 años en los patrones hidrológicos, asociado ello a factores de crecimiento poblacional en zonas cercanas a cursos

de flujos de agua que muchas de ellas pasan por ciudades importantes como los es el caso del río Rímac.

En este contexto, Callaghan y Hughes (2022) evalúan cómo los cambios en el clima, proyectados a través de diferentes modelos climáticos globales y regionales, afectan los peligros de inundación en la cuenca del río Gwydir, en Nueva Gales del Sur (Australia), en llanuras aluviales, para ello utilizan modelos hidrológicos e hidráulicos forzados con datos climáticos futuros para simular caudales y niveles de agua además subrayan que el uso de múltiples modelos climáticos y horizontes temporales es esencial para capturar la incertidumbre y planificar medidas de adaptación más robustas. Estos sistemas afectan a diversos procesos medio natural, sistemas agrícolas y la vida futura de la tierra (Urrego-Pereyra et al., 2023).

Por otro lado, la cuenca del río Rímac es una de las principales cuencas por encontrarse atravesando la metrópoli de Lima, Capital del Perú, principal fuente de agua para Lima y sustento de múltiples actividades económicas y sociales. También importante porque es fuente de estudio en temporadas estacionales húmedas, huaicos, crecidas, inundaciones, desastres, riesgos de sequías, reducción estacional de caudales, lluvias intensas, procesos de erosión, deslizamientos de laderas, entre otros que amenazan tanto a las poblaciones aledañas como a la infraestructura crítica de la capital.

Por su parte, Flores y Rios (2023), realizaron un estudio sobre el comportamiento hidráulico del río Rímac mediante el uso de los programas ArcGis y HEC-RAS. Lo cual opinan la alta vulnerabilidad del área frente a las lluvias intensas por lo que plantearon soluciones como la construcción de diques y la ampliación del cauce del río.

De manera similar, Durand y Ramos (2025), realizaron un estudio en el río Curibaya mediante modelación hidráulica, empleando programas como HEC-HMS y HEC-RAS para evaluar zonas de peligro ante inundaciones. Los resultados indicaron que, para un periodo de retorno de 100 años, se desarrolló un tirante de 3.40m y una velocidad máxima de 6.3m/s, la mayoría del área inundable, el 60.2%, presentó peligro bajo. Sin embargo, para el periodo de retorno de 500 años, se desarrolló un tirante de 4.73m y una velocidad máxima de 7.4m/s, aumentaron significativamente las áreas clasificadas en peligro medio, el 41.7%, y alto, el 11%, resaltando una vulnerabilidad creciente ante eventos extremos más severos.

Por su parte, Alcántara y Castro (2021), realizaron un modelamiento del río Saraus, afluente al río la Llanga en Celendín, analizando la dinámica del agua en su trayecto, aplicando modelos hidrológicos de HEC-RAS y Sistemas de información Geográfica, en ríos de la Cordillera de los Andes, en valles interandinos (caso de la microcuenca del río Saraus. Aportante del río la Llanga), lo cual muestra altos efectos en la extensión, profundidad y velocidad del agua, con flujos dinámicos de erosión del río en cual conlleva a la pérdida de áreas agrícolas, ganaderas y viviendas cercanas a los ríos. Aplicado también en otros ríos, (Arratea y Mamani (2020), Romali et al (2018).

Así mismo, las inundaciones es un proceso natural, que debido a factores humanos, se convierte en un riesgo. Las inundaciones como tales, corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado ello a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificializados, colectores urbanos, etc. (Ferrando, 2006).

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2011) clasifica las inundaciones según su duración y origen. Inundaciones dinámicas o rápidas que ocurren en cauces con fuertes pendientes, donde precipitaciones intensas provocan desbordes repentinos capaces de generar daños severos en infraestructuras y asentamientos. Por otro lado, las inundaciones estáticas o lentas se presentan cuando el caudal de un río o cuerpo de agua supera su capacidad de conducción, fenómeno conocido como crecida, generalmente asociado a lluvias prolongadas o inusuales; las cuales están asociadas generalmente a sistemas pluviales.

El caso del río Rimac, es una característica especial por varias razones, los tipos de depósitos, son cantos rodados, el crecimiento poblacional al borde del río, los cauces son estrechos, vías cercanas a la ribera del río, algunas de fuertes pendientes, la población aún no interioriza la problemática y los huaicos en el mes de estiaje es un proceso cíclico cada año, lo cual hace vulnerable su estado. Diversos son los distritos susceptibles a un proceso de inundaciones como: Lurigancho-Chosica, Chaclacayo y Ate, así como las zonas bajas de Lima Metropolitana, requieren intervenciones permanentes debido a su ubicación en planicies aluviales y áreas altamente susceptibles a eventos hidrológicos extremos.

Por otro lado, es importante considerar el período de retorno, (Chow, Maidment y Mays (1994)), lo cual, en los procesos actuales, debemos considerar adicionalmente eventos extremos, fenómeno que formaría parte de otro análisis matemático, dado las condiciones de cambio de los nuevos regímenes estacionales, lo cual se explica en la parte metodológica.

De lo anteriormente mencionado, la investigación se justifica porque nos permite observar las posibles zonas de inundación a lo largo de la zona de estudio, dado que es uno de los asentamientos poblacionales con mayor densidad territorial, lo cual un evento de esta naturaleza generaría altos impactos en el AA.HH. Ramón Castilla, Gambeta, Santa Rosa, en el Callao, asentadas aledaña al río Rimac en su margen izquierda. En este sentido el objetivo de la presente investigación es modelar zonas potencialmente inundables en la parte baja de la cuenca del río Rímac, en el tramo de salida de la cuenca producto de caudales máximas para periodos de retorno de 30, 50 y 100 años e identificar sectores críticos de desborde.

METODOLOGÍA

El enfoque cuantitativo, dado que describe procesos de ocurrencia de inundaciones frente al fenómeno de generación de caudales, bajo un sistema de modelamiento hidrológico, la cual sigue pautas cuantificables en función de la

ocurrencia de patrones de suelo, geomorfología, intensidades, caudales y parámetros que explican la ocurrencia de fenómenos de inundación. Su alcance según Vásquez et al (2023), vincula con el tiempo y los recursos disponibles, temporalmente coge una data histórica de caudales, con un alcance geoespacial en la parte baja de la cuenca del río Rímac, un río de evolución media con flujos de agua profundo y superficial, dependiendo de la geomorfología y la evolución topográfica del terreno.

El estudio es parte de un proceso de análisis geoespacial, mediante el uso de imágenes satelitales, teoría hidrológica, softwares hidrológicos, datos de caudales, análisis geomorfológico, recorrido de la inundación, puntos clave de análisis y modelamiento hidrológico de tiempos de retorno. El tiempo de retorno se utiliza principalmente para estimar la probabilidad de ocurrencia de fenómenos casuísticos, como crecidas o avenidas, permitiendo dimensionar obras hidráulicas y establecer medidas de prevención ante inundaciones.

Desde una perspectiva estadística, el período de retorno se expresa mediante la fórmula:

$$T = \frac{N + 1}{m}$$

Donde T representa el período de retorno (en años), N el número total de años de registro hidrológico, y m el orden o posición del evento cuando los caudales máximos se disponen de mayor a menor. Esta relación permite determinar la probabilidad de que un caudal extremo sea igualado o superado en un año dado, calculada como:

$$P = \frac{1}{T}$$

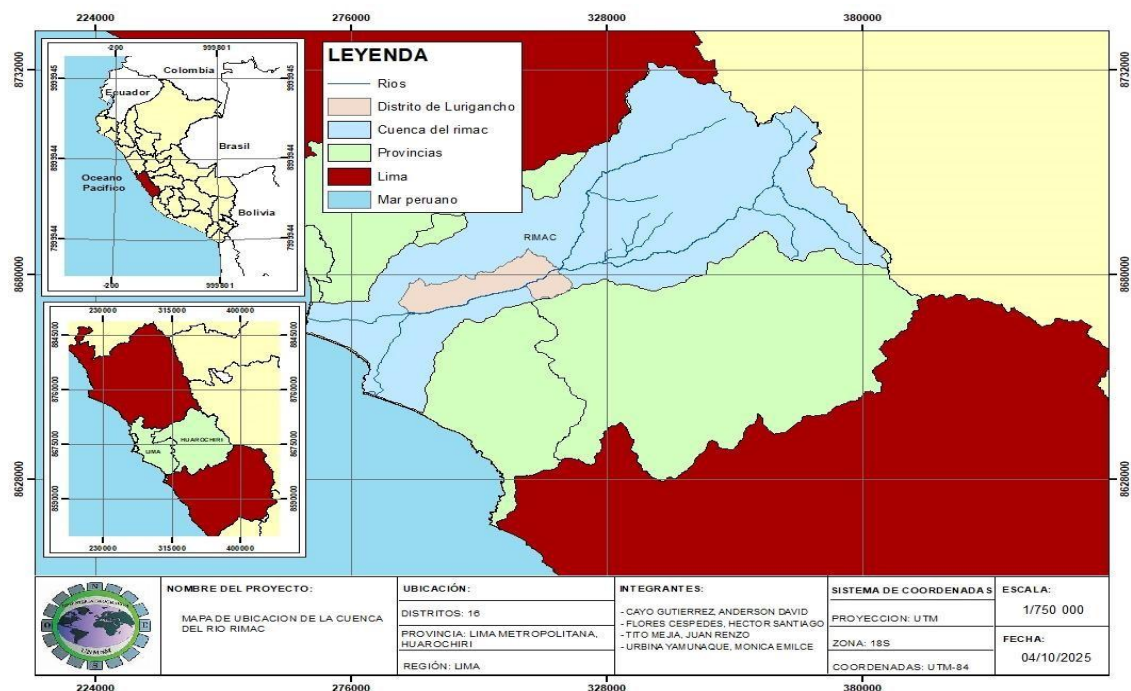
El programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) es una herramienta desarrollada por el US Army Corps of Engineers, cuya característica esencial es realizar simulaciones hidráulicas de flujo unidimensional y bidimensional en ríos y cauces naturales o artificiales. Chakraborty y Biswas (2019) señalan que el software HEC-RAS constituye una herramienta eficaz para el modelamiento hidráulico y la elaboración de mapas de peligro hidráulico, especialmente cuando se combina con Sistemas de Información Geográfica, lo cual permite identificar con precisión las zonas vulnerables en una cuenca. Acorde con el Modelo Hidrológico, se ha considerado condiciones de borde estable dada la disposición de materiales de canto rodado a lo largo del cauce del río, como criterio de flujo del agua como supercrítico, para lo cual no se incluyó estructuras a lo largo de su recorrido. Los criterios de rugosidad están explicados según los rangos de Manning.

El área de estudio se realizó en la parte baja de Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, parte baja de la cuenca del río Rímac, con una alta influencia implícita de la cabecera de cuenca, aportante con altas precipitaciones. Su análisis específico es desde la Urb. Santa María de Chosica, después de la confluencia del río Santa Eulalia hacia el río Rímac en Chosica, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico (Base Naval del Callao) aproximadamente

35 Km. (área costera), caracterizada por ser una zona árida, precipitaciones anuales menores a 50mm, escasa vegetación, pendientes moderadas y alta densidad poblacional. El recorrido del río aborda desde el Distrito Lurigancho hasta el Callao, se puede mencionar entre los principales: Chosica, Chaclacayo, San Juan de Lurigancho, Lima centro, El Rímac, San Martín de Porres y el Callao.

Figura 1

Mapa de ubicación de la cuenca del Rímac



Para la investigación se tomó datos de la estación Chosica, por encontrarse justo antes del inicio geoespacial para el modelamiento, la cual se encuentra entre las coordenadas geográficas $11^{\circ}55'47.5''$ de latitud sur y $76^{\circ}41'22.7''$ de longitud oeste, con elevación de 867 msnm. Su ubicación en la cuenca baja del río Rímac, permite usar su data como factor de modelamientos hidrológico, buscando predicciones relacionadas al agente fluvial, y el análisis geoespacial de la zona de estudio.

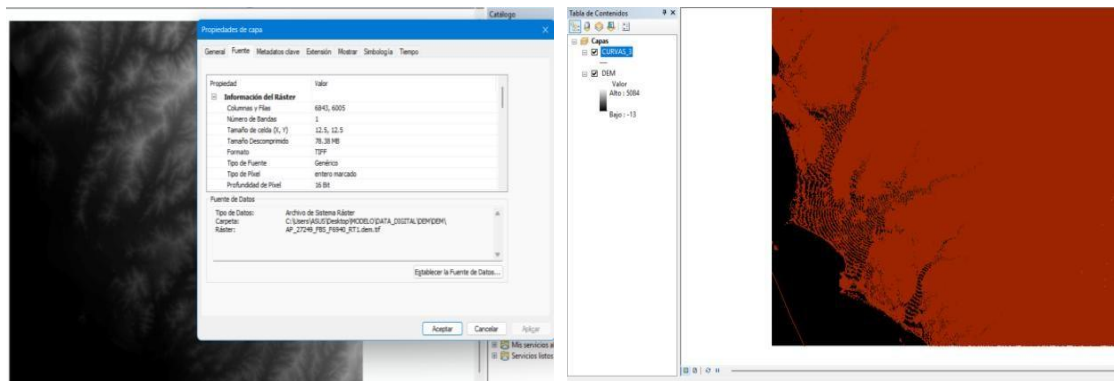
Así mismo, el sistema nacional de información de recursos hídricos (SNIRH) nos permitió obtener la data de caudales promedios anuales para el periodo 1920-2024, serie histórica consolidada y tratada; mientras que el estudio hidrológico de la PCM nos proporcionó la data de los caudales máximos anuales, las cuales también corresponde a datos validados por la institución.

La información gráfica fue descargada mediante la plataforma de la Nasa (<https://search.asf.alaska.edu/#/>), gracias al satélite Alos Pasar, con información tipo DEM. Estas imágenes serán la base del modelamiento hidrológico por ello la resolución espacial fue de 12.5 m, para identificar elementos y dirección del río, la cual se trabajó a partir del procesamiento de información en el modelo TIN.

El marco de datos (data frame) lleva como sistema de coordenadas 1984 UTM Zona 18S dada la posición geográfica del área de estudio. Por ello los datos shape y raster adoptan el sistema de coordenadas mencionadas.

Figura 2

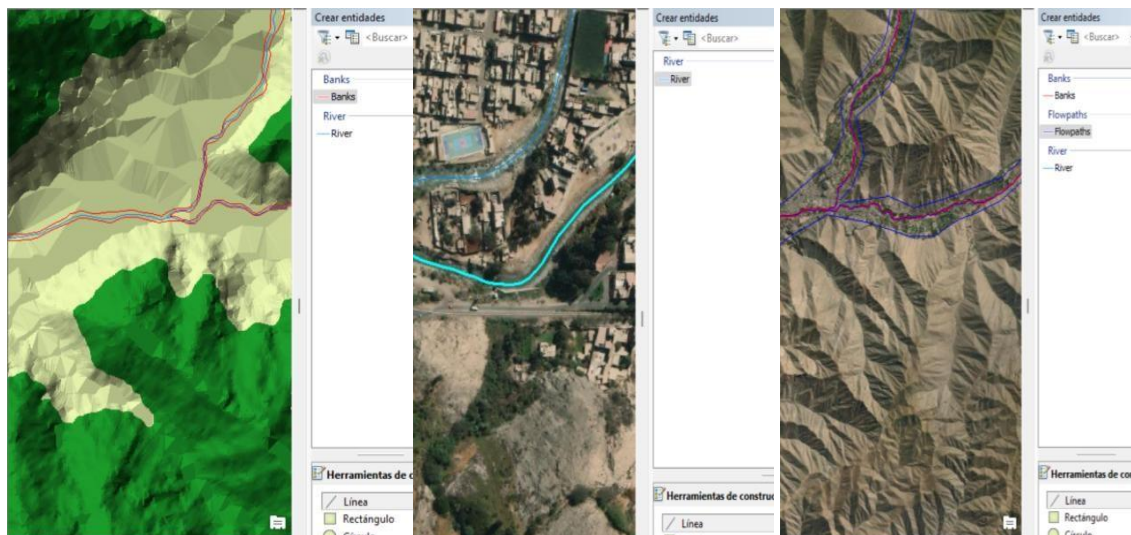
Vectorización



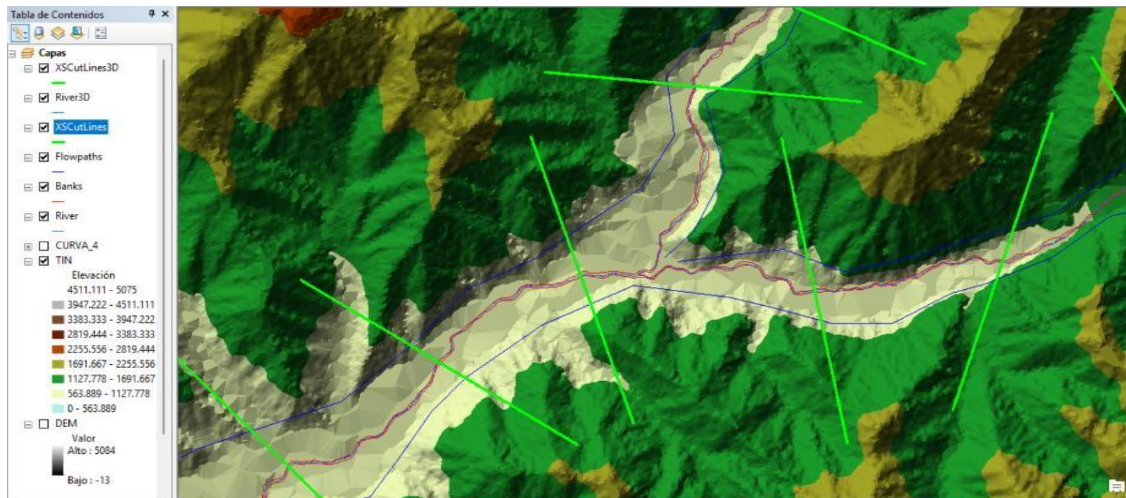
Mediante la herramienta Hec-geoRas realizamos las geometrías del río, el curso principal del río (river), líneas de margen (bank lines) y líneas de desbordamiento (flow path) que son dibujadas en ayuda del TIN. Su proceso de ajuste de información obedece a parámetros preestablecidos en el modelo, como parte de un proceso exploratorio.

Figura 3

Geometría de un río



Se realizaron líneas de corte transversal para determinar información precisa y puntual en determinadas zonas, para el presente estudio se consideraron el uso de 18 líneas de corte, separadas cada 2 km y cada una con un ancho constante, considerando las características geomorfológicas, topográficas y direcciones de corriente.

Figura 4*Cortes transversales*

Se exporta la geometría al programa HEC-RAS y se ingresan datos importantes para el modelamiento. Consideramos también el coeficiente de Manning como factor Influyente en la velocidad y caudal (Chow, 1959), depende de la superficie del trayecto en cada corte transversal. Se consideró: 0.040 es el valor para las zonas de alta pendiente, 0.035 en las zonas de pendiente no tan notoria, 0.025 en la zona menos empinadas.

Para el flujo de análisis hidrológico, se tomaron en cuenta procesos del modelamiento, la serie de caudales máximos, el tratamiento de los datos mediante el modelo matemático de Gumbel, luego la obtención de caudales máximos en periodos de retorno para 30, 50 y 100 años, datos utilizados para el procesamiento del modelo de simulación según el modelo hidrológico de los caudales máximos en el periodo de 1920-2024.

RESULTADOS

Figura 5*Área de extensión de la geometría de río*

En la Figura 5 se presenta la vista satelital de la representación según el modelo hidráulico de la cuenca baja del río Rímac elaborada en el software HEC-RAS, con un trazado principal del cauce y secciones transversales en color verde. Este modelo abarca la llanura en la salida de la cuenca del Rímac hacia el Océano Pacífico, atravesando los distritos de Lurigancho-Chosica, Chaclacayo, Ate, San Juan de Lurigancho, El Agustino y Lima Metropolitana; considerando relieves empinados, valles encajonados y cauces abiertos, lo que refleja una alta dinámica erosiva del río, lo que genera pendientes suaves a pronunciadas, recorridos sinuosos y rectos en planicies aluviales, diseñando un paisaje de depósitos de cantos rodados, en cuyos márgenes se plasma la ocupación con infraestructura urbana e industrial, entre otros.

Figura 6

Simulación periodos de retorno de 30 años

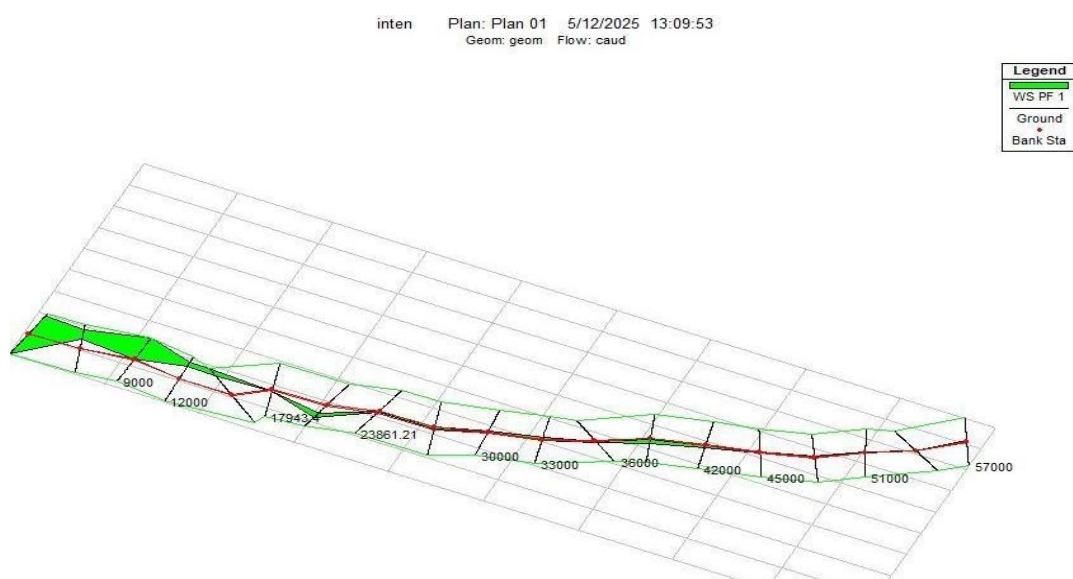


Figura 7

Simulación periodos de retorno de 50 años

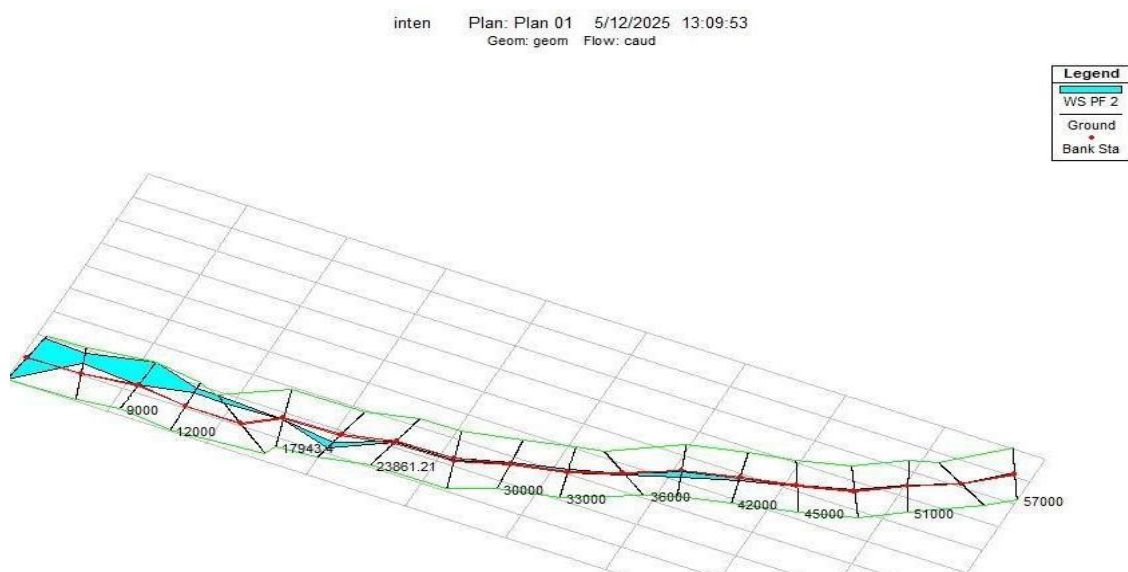
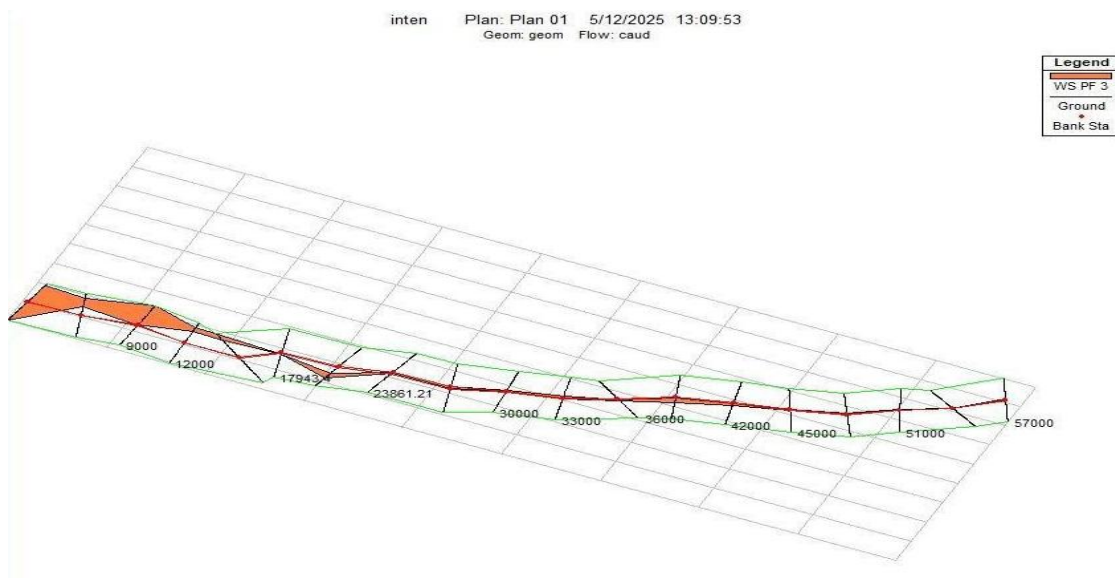


Figura 8*Simulación periodos de retorno de 100*

Nota. Flujo y manchas de inundación anual durante los periodos de retorno de 30, 50, 100 años respectivamente, a lo largo de las secciones transversales del río Rímac. En círculos rojos se destaca las zonas de desbordes.

En la Figura 6, 7 y 8 se muestra resultados del modelamiento hidráulico del río Rímac con HEC-RAS, donde se representan las manchas de inundación en dos espacios bien definidos y los niveles de flujo correspondientes a los periodos de retorno de 30, 50 y 100 años, sin diferencia significativa. Según los resultados el impacto más importante se observa en el tramo aproximado de 6km en la salida del río, donde el desborde podría generar inundación en la margen izquierda del río donde se asientan poblaciones de Santa Rosa y Ramón Castilla, por encontrarse a un desnivel del talven del río Rímac. El mayor ancho de inundación se presentaría en la desembocadura del río, alcanzando hasta de 1km en ambas márgenes. Las zonas más bajas del valle, ubicadas principalmente en los sectores de Lima Metropolitana y San Juan de Lurigancho, muestran un impacto muy bajo de extensión de inundación, reflejando la tendencia del río a desbordarse hacia áreas planas y urbanizadas donde la pendiente es mínima y la capacidad de drenaje natural se encuentra reducida.

Asimismo, en los distritos de Chaclacayo y Lurigancho-Chosica se identifican zonas con posible afectación por inundaciones, aunque de manera menos pronunciada en comparación con los sectores bajos de la cuenca. En el tramo medio del área de análisis, las manchas de inundación se concentran principalmente en tramos estrechos del valle con acumulación temporal de sedimentos, producto de la configuración topográfica y la proximidad de las laderas. En conjunto, el modelo evidencia que el riesgo de inundación aumenta hacia la parte baja de la cuenca, donde la combinación de baja pendiente, urbanización densa y reducción de la sección hidráulica nos muestra una expansión lateral del flujo durante las crecidas.

Figura 9

Vista del corte transversal altura 96.6 msnm

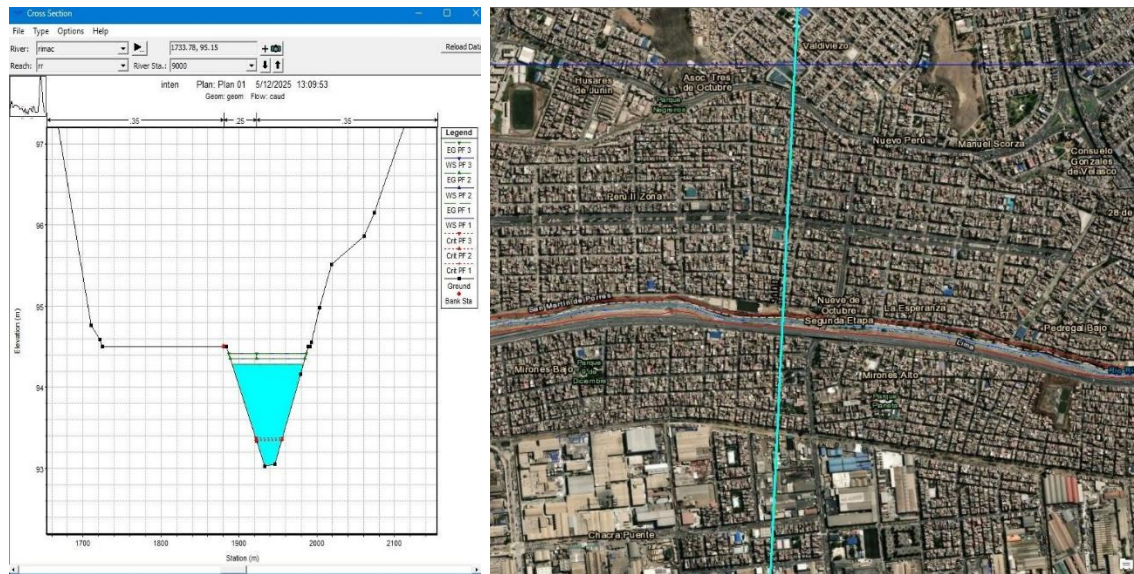


Figura 10

Vista del corte transversal altura 206.5 msnm

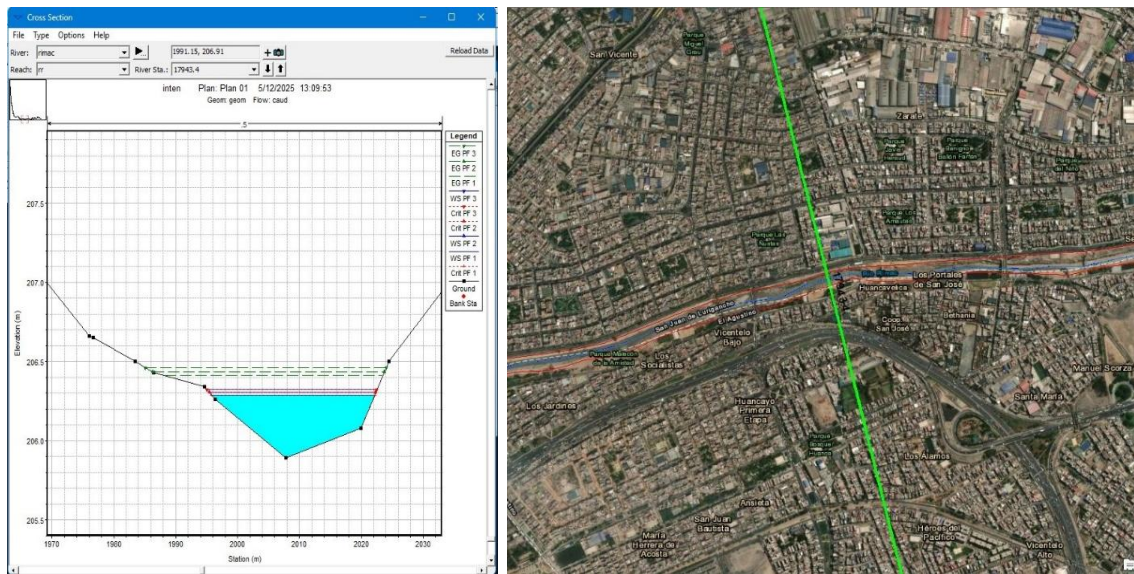
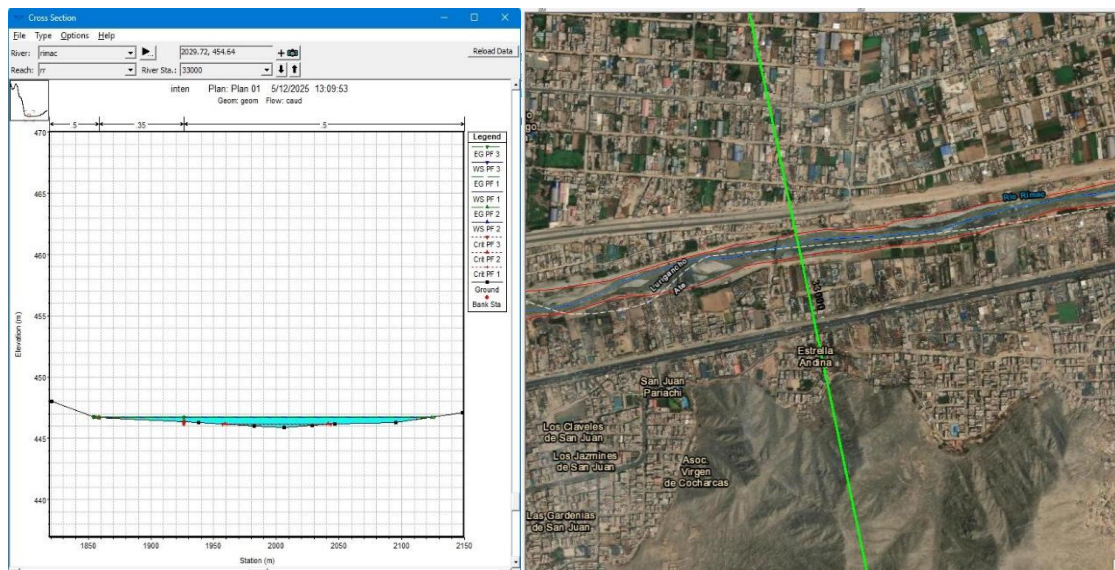


Figura 11*Vista del corte transversal altura 446.5 msnm*

En las secciones de las Figura 9, 10 y 11, se observa que el flujo presenta un comportamiento variable a lo largo del cauce, marcado por diferencias en la capacidad hidráulica del anal activo (línea roja). En algunas de las secciones, la lámina de agua supera parcialmente el límite del cauce, lo que revela tramos con capacidad insuficiente para conducir el caudal en un evento posible.

La topografía del valle y los depósitos aluviales son los que modelan la respuesta hidráulica: en geomorfologías llanas y tramos ensanchados se reducen la energía y favorecen la deposición, típico caso del río Rimac en su salida hacia el Océano Pacífico, mientras que los sectores estrechos o con mayor pendiente incrementa la velocidad y la erosión, incluso generando cauces profundos, como es el caso a la altura del puente Caquetá, que alcanzan promedios de 12m de profundidad desde la última terraza.

De lo anterior, la morfología del trayecto del río, controla el régimen del flujo. Aunque no hay desbordes en la mayor parte del recorrido del río, los puntos donde la lámina de agua supera el cauce activo constituyen zonas críticas por su potencial de socavación, almacenamiento de material y posibles desbordes en la simulación para tiempos de retorno establecidos.

DISCUSIÓN

Los resultados evidenciaron que las zonas potencialmente inundables no se distribuyen uniformemente a lo largo del tramo estudiado del río Rímac, sino que se concentran principalmente en la parte baja de la cuenca, cerca de la desembocadura. Este comportamiento se relaciona con la disminución de la pendiente, el ensanchamiento del valle y la presencia de superficies urbanizadas próximas al cauce, condiciones que favorecen la expansión lateral del flujo durante eventos de caudales máximos.

Estos hallazgos coinciden con Alcántara y Castro (2021), quienes señalaron que la extensión de las inundaciones depende de la configuración geomorfológica, la

profundidad del cauce y la velocidad del flujo. Asimismo, guardan relación con Flores y Ríos (2023), quienes identificaron sectores vulnerables en el río Rímac debido a la limitada capacidad hidráulica del cauce y a la proximidad de las áreas urbanas. En el presente estudio, estas condiciones fueron más evidentes en los sectores de menor elevación, donde el agua puede superar los límites del cauce y extenderse hacia las áreas colindantes.

Los escenarios correspondientes a los periodos de retorno de 30, 50 y 100 años mostraron patrones espaciales semejantes. Esto indicaría que los puntos críticos de desborde se encuentran determinados principalmente por condiciones físicas permanentes, como la geometría del cauce, la pendiente y la elevación de los terrenos cercanos. A diferencia de Durand y Ramos (2025), quienes encontraron un incremento más marcado de las áreas de peligro ante periodos de retorno mayores, en el río Rímac las variaciones fueron menos pronunciadas, posiblemente por las características particulares del tramo modelado.

Las secciones transversales también mostraron diferencias en la capacidad hidráulica del río. En los sectores estrechos y de mayor pendiente, el flujo permanece más confinado, pero puede alcanzar mayores velocidades y generar procesos erosivos. Por el contrario, en las zonas llanas y de menor pendiente, el agua pierde velocidad y tiende a expandirse lateralmente. Esta dinámica explica que los principales desbordes se concentren en determinados puntos de la cuenca baja y no de manera continua a lo largo de todo el río.

Asimismo, los resultados deben interpretarse considerando la precisión de los insumos utilizados en el modelamiento. Alipour et al. (2022) señalaron que la resolución topográfica, la rugosidad y las condiciones de borde influyen directamente en la extensión simulada de una inundación. De manera similar, Muthusamy et al. (2021) y Parizi et al. (2022) demostraron que los modelos digitales de elevación de menor resolución pueden limitar la representación de pequeñas variaciones del terreno y de elementos urbanos. En el presente estudio, el empleo de un modelo digital de elevación de 12,5 m permitió reconocer el comportamiento general del flujo, aunque pudo reducir el nivel de detalle de las áreas inundables. Por su parte, Costabile et al. (2021) destacaron la importancia de calibrar y validar los modelos hidráulicos para mejorar la confiabilidad de los escenarios simulados.

En síntesis, la susceptibilidad a inundaciones en la parte baja del río Rímac responde a la interacción entre los caudales máximos, la geometría del cauce, la pendiente, la configuración de la llanura aluvial y la ocupación urbana. Los resultados permiten identificar sectores que requieren atención prioritaria mediante el monitoreo hidrometeorológico, la actualización de los mapas de peligro y el control de la ocupación de las áreas cercanas al río.

Como limitaciones, el estudio empleó un modelo digital de elevación de 12,5 m, 18 secciones transversales y parámetros hidráulicos establecidos a partir de características generales del terreno. Estas condiciones pueden limitar la representación detallada de estructuras, defensas ribereñas y variaciones locales del cauce. Por ello, futuras investigaciones deberían utilizar información

topográfica de mayor resolución, aumentar el número de secciones, calibrar el modelo con eventos históricos e incorporar variables de exposición y vulnerabilidad.

CONCLUSIÓN

La cuenca del río Rímac presenta una alta vulnerabilidad por las características del cauce limitado por un crecimiento poblacional, frente a incrementos en la variabilidad de las precipitaciones, eventos de lluvias intensas y crecidas repentinas. Con las condiciones de data actual, afectarían solamente zonas de llanuras a la salida de la cuenca y en la parte media del tramo simulado, como área de análisis.

El modelamiento hidráulico desarrollado mediante HEC-RAS en la zona de estudio, identificó dos áreas críticas de desborde, para periodos de retorno de 30, 50 y 100 años, mostró que la extensión de las zonas inundables y la morfología del flujo presentan variaciones potenciales en función del crecimiento poblacional en la zona de llanura, que en algunos puntos como entre la av. Faucett y Morales Durares, la población se encuentra por debajo del nivel del talwen del río, por lo que es importante considerar estos patrones en la planificación preventiva en las áreas básicamente que teneos como modelamiento.

Los escenarios de riesgo, que nos muestra el modelamiento es una forma de generar focos de fortalecimiento en el monitoreo hidrometeorológico, la generación de mapas de peligros para los distritos del callao y San Juan de Lurigancho, teniendo en consideración que podría mostrar otras particularidades en función a cambios del ritmo del ciclo hidrológico evidenciados desde el 2017.

Rol de contribución

Jaime Luis Hernández Burgos: Conceptualización, análisis formal, investigación, escritura–borrador original, escritura–revisión y edición, visualización, supervisión, administración del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara Boza, A. y Castro Tenorio, A. (2021). *Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Saraus - La Llanga, Celendín. Revista del Instituto de Investigación*, 24(48).
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/19852>
- Alipour, A., Jafarzadegan, K., y Moradkhani, H. (2022). Global sensitivity analysis in hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling & Software*, 152, 105398.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105398>
- Arratea Juli, J. C. y Mamani Benavente, Y. (2020). *Determinación de zonas inundables mediante simulación hidráulica bidimensional aplicando HEC-RAS 5.0.7 en un tramo del río Ramis, distrito de Taraco – Huancané, Puno* [Trabajo de investigación, Universidad Peruana Unión].

<https://repositorio.upeu.edu.pe/items/a9e1dcd3-0601-44fdbd67-336dcfbb9870/full>

- Callaghan, D. P., y Hughes, M. G. (2022). Assessing flood hazard changes using climate model forcing. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(8), 2459-2472. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-2459-2022>
- Carrillo Espinoza, J. I. (2022). Variabilidad climática en relación a datos meteorológicos en la región de Cajamarca del 2005 al 2020: Análisis estadístico. *Revista Científica: Biotech and Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.52248/eb.vol2iss1.42>
- Chakraborty, S., y Biswas, S. (2020). Application of geographic information system and HEC-RAS in flood risk mapping of a catchment. En J. K. Ghosh & I. da Silva (Eds.), *Applications of Geomatics in Civil Engineering* (pp. 215-224). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7067-0_17
- Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., y Barca, P. (2021). Is HEC-RAS 2D accurate enough for storm-event hazard assessment? Lessons learnt from a benchmarking study based on rain-on-grid modelling. *Journal of Hydrology*, 603, 126962. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126962>
- Durand Durand, D. F., y Ramos Chambi, J. J. (2025). Determinación y análisis de zonas inundables en el tramo costero del río Curibaya usando modelación hidráulica 2D [Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. En *Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://hdl.handle.net/10757/685289>
- Ferrando A, F. J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. *Revista de Urbanismo*, (15), 25-42. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2006.5129>
- Flores Rios, D. A., y Rios Peña, L. R. (2023). Análisis hidráulico de un tramo del río Rímac ubicado en Chosica con fines de mitigar las inundaciones [Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. En *Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://hdl.handle.net/10757/670768>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2011). *Manual de Estimación del Riesgo ante Inundaciones Fluviales* (Cuaderno Técnico N.º 02). <https://bvpad.indec.gov.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>
- Muthusamy, M., Casado, M. R., Butler, D., y Leinster, P. (2021). Understanding the effects of digital elevation model resolution in urban fluvial flood modelling. *Journal of Hydrology*, 596, 126088. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126088>

- Ogras, S., y Onen, F. (2020). Flood analysis with HEC-RAS: A case study of tigris river. *Advances in Civil Engineering*, 2020(1). <https://doi.org/10.1155/2020/6131982>
- Parizi, E., Khojeh, S., Hosseini, S. M., & Jouybari Moghadam, Y. (2022). Application of unmanned aerial vehicle DEM in flood modeling and comparison with global DEMs: Case study of Atrak River Basin, Iran. *Journal of Environmental Management*, 317, 115492. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115492>
- Romali, N. S., Yusop, Z., & Ismail, A. Z. (2018). Application of hec-ras and arc gis for floodplain mapping in segamat town, malaysia. *International Journal of GEOMATE*, 15(47), 7-13. <https://doi.org/10.21660/2018.47.3656>
- Ruiz-Ochoa, M.A., Torres-Corredor, J., Vargas-Corredor, Y. y Orduz-Amaya, L. (2023). Variabilidad climática (precipitación, temperatura y humedad relativa) para la gestión hídrica del departamento del Casanare, Colombia. *Información Tecnológica*, 34(5). <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v34n5/0718-0764-infotec-34-05-47.pdf>
- SENAMHI. (2025). *Estaciones meteorológicas*. <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=estaciones>.
- Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos. [SNIRH]. (s. f.). Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos. <https://snirh.ana.gob.pe/snirhPortal/>
- Urrego-Pereyra, Y., García-Lozano, J., Vega-Díaz, J., Rodríguez-Valencia., A. y Quezada-Ortiz, N. (2023). Cambio climático y variabilidad espacio-temporal (serie 1980-2020) de la temperatura en Tolima, Colombia. *Acta Agronómica*, vol. 72, núm. 1, pp. 7-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v72n1.109207>.
- Vásquez Ramírez, A. A., Guanuchi Orellana, L. M., Cahuana Tapia, R., Vera Teves, R., y Holgado Tisoc, J. (2023). *Métodos de investigación científica*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>