

Anomalías hidrometeorológicas e impactos en la infraestructura de Huánuco: análisis del primer trimestre, 2025

Hydrometeorological anomalies and impacts on the infrastructure of Huánuco: analysis of the first quarter, 2025

Klinsman Aguirre-Quispe^{1,a} , Nilton Díaz-Quispe^{1,a} ,
Angélica de la Cruz-Guillén^{1,a} , Viviana Villaran-Rojas^{1,a} , Jorge Romero-Estacio^{2,b} 

Filiación institucional

¹ Grupo Estudiantil de Investigación Hidroclimática Andina (GEIHA), Huánuco, Perú.

² Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Huánuco, Perú.

Grado académico

^a Egresado del Programa Académico de Ingeniería Ambiental.

^b Maestro en Gestión Pública.

Recibido: 15-10-25

Aprobado: 18-12-25

Publicado: 15-01-26

RESUMEN

Este estudio analiza las anomalías de caudal y de precipitación en la cuenca media del río Huallaga durante el primer trimestre de 2025 y su impacto en la infraestructura de Huánuco. Se utilizaron series diarias de precipitación (2015-2025) y de caudal (2020-2025) provenientes del SENAMHI y de la ANA, aplicando el índice de precipitación estandarizado (SPI) y el método de Z-score para detectar anomalías. Los resultados evidencian un comportamiento hidrológico atípico caracterizado por anomalías positivas significativas en el caudal, con valores superiores a 2.5 desviaciones estándar en marzo de 2025, mientras que la precipitación presentó alta variabilidad interestacional, con eventos intensos concentrados principalmente en febrero. Las estaciones hidrológicas Higuera, San Rafael y Taruca registraron incrementos de caudal de hasta un 80 % respecto a sus promedios históricos. Este desacople entre la precipitación acumulada y la respuesta hidrológica sugiere la influencia de factores como la saturación previa del suelo, la escorrentía acumulada y los aportes de las zonas altas. Estas condiciones generaron desbordes, huaicos e inundaciones que afectaron la infraestructura vial, las viviendas y las áreas agrícolas en Huánuco, Ambo y Santa María del Valle. Se concluye que el evento de 2025 responde a un régimen hidrológico no estacionario, lo que evidencia la necesidad de actualizar los criterios de diseño hidráulico e incorporar paquetes de gestión de riesgos basados en las condiciones climáticas cambiantes de la región de Huánuco. Esta investigación constituye una base técnica fundamental para la gestión del riesgo de desastres en la región.

Palabras clave: anomalías hidrometeorológicas, caudal, índice SPI, variabilidad climática, gestión del riesgo.

ABSTRACT

During the first quarter of 2025 and their impact on the infrastructure of Huánuco. Daily precipitation series (2015–2025) and flow series (2020–2025) from SENAMHI and ANA were used, applying the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Z-score method to detect anomalies. The results show an atypical hydrological behavior characterized by significant positive anomalies in flow, with values exceeding 2.5 standard deviations in March 2025, while precipitation exhibited high interseasonal variability, with intense events mainly concentrated in February. The hydrological stations Higuera, San Rafael, and Taruca recorded flow increases of up to 80% compared to their historical averages. This decoupling between accumulated precipitation and the hydrological response suggests the influence of factors such as prior soil saturation, accumulated runoff, and contributions from the upper zones. These conditions generated overflows, mudslides, and floods that affected road infrastructure, housing, and agricultural areas in Huánuco, Ambo, and Santa María del Valle. It is concluded that the 2025 event responds to a non-stationary hydrological regime, which highlights the need to update hydraulic design criteria and incorporate risk management packages based on the changing climatic conditions of the Huánuco region. This research constitutes a fundamental technical basis for disaster risk management in the region.

Keywords: hydrometeorological anomalies, flow, SPI index, climatic variability, risk management.

Citar como: Aguirre-Quispe, K., Díaz-Quispe, N., De la Cruz-Guillén, A., Villaran-Rojas, V., y Romero-Estacio, J. (2026). Anomalías hidrometeorológicas e impactos en la infraestructura de Huánuco: análisis del primer trimestre, 2025. *Revista Peruana de Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente*, 3(1), 23-36. <https://doi.org/10.37711/repiama.2026.3.1.3>



Introducción

A escala global, los estudios señalan que las crecientes precipitaciones extremas asociadas al cambio climático están intensificando el riesgo de desbordamientos urbanos, afectando la infraestructura y los asentamientos humanos (Dharmarathne et al., 2024). Además, en zonas como los Andes, la expansión urbana hacia las riberas de los ríos y las zonas bajas aumenta el riesgo ante eventos hidrológicos extremos debido a la falta de planificación urbana, lo que agrava esta vulnerabilidad al reducir la infiltración del suelo y obstruir los sistemas de drenaje, intensificando el impacto de las lluvias y los desbordes en las ciudades (Fan et al., 2025). Ante ello, análisis como la identificación de anomalías en el régimen hidrológico adquieren particular relevancia. Asimismo, el cambio climático y la urbanización alteran las lluvias y, por ende, la crecida del caudal hídrico de los ríos, lo que provoca anomalías hidrológicas al exceder los rangos históricos (Sui et al., 2024).

Las anomalías hidrológicas son desviaciones de los patrones climáticos e hídricos históricos detectadas mediante análisis estadísticos que permiten identificar eventos como desbordes o sequías prolongadas (Alvarez-Garretón et al., 2021). En regiones como los Andes, las variaciones estacionales de precipitación han sido evaluadas para comprender cómo los eventos extremos de lluvia alteran el balance hídrico del suelo y afectan la recarga de los acuíferos (Nasta et al., 2020). Según Grimm & Tedeschi (2009), las variaciones abruptas en el régimen de lluvias, influenciadas por anomalías, pueden provocar desbordes con consecuencias directas en la infraestructura urbana, como edificios, vías, puentes y otras construcciones humanas. Dichos eventos generan impactos directos en la infraestructura urbana y en terrenos colindantes a las riberas de los ríos (Lopardo et al., 2023).

Las anomalías en la precipitación y el caudal han demostrado tener efectos críticos sobre la infraestructura urbana en múltiples contextos del mundo. Afroz et al. (2021) evidenciaron que las lluvias intensas y concentradas provocan desbordes repentinos, ya que los promedios mensuales no reflejan los picos de escorrentía que afectan el drenaje y las infraestructuras. En otro estudio, Yang et al. (2024) analizaron cómo el desarrollo urbano compacto intensifica las anomalías pluviométricas, lo que provoca lluvias extremas más frecuentes que en zonas rurales cercanas. Además, Walczykiewicz & Skonieczna (2020) demostraron que las lluvias intensas provocan desbordes urbanos, agravados por el sellado del suelo y la topografía, lo que aumenta la vulnerabilidad de las infraestructuras y las viviendas. Estos antecedentes ofrecen evidencia sólida de que las anomalías hidrológicas no solo son impredecibles, sino que también pueden provocar daños estructurales considerables.

La ciudad de Huánuco ha presentado históricamente una alta vulnerabilidad ante las crecidas de los ríos, que provocan desbordes recurrentes, según reportes periodísticos (Tu Diario Huánuco, 2025). Según avisos hidrológicos emitidos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), durante los meses de febrero y marzo de 2025, el río Huallaga registró incrementos significativos en su caudal, lo que ocasionó desbordes en diversas zonas (León, 2025). Asimismo, el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER) informó que, debido a las intensas lluvias registradas durante aproximadamente ocho horas la noche del 5 de marzo, seis distritos resultaron afectados por el desborde del río Huallaga: San Rafael, Ambo, Tomayquichua, Conchamarca, Pillco Marca y Amarilis (Espinoza, 2025). Además, el desborde provocó daños en al menos cuatrocientas hectáreas de cultivo y en diecinueve instituciones educativas, lo que evidencia la magnitud del impacto tanto en la infraestructura productiva como educativa de la región (Redacción RPP, 2025). La recurrencia de estos fenómenos pone en evidencia la necesidad de analizar dichos fenómenos climáticos y los efectos de las crecidas del río Huallaga, con el fin de generar información técnica que contribuya a una mejor gestión del riesgo y al desarrollo sostenible de la región.

El presente estudio tiene como objetivo analizar las anomalías de caudal y de precipitación en el río Huallaga, con enfoque en sus impactos sobre la infraestructura y los terrenos aledaños a la ciudad de Huánuco durante el primer trimestre de 2025. Asimismo, se identificarán puntos críticos en los que el aumento del caudal ha causado daños en edificaciones y vías, a fin de determinar la relación entre las condiciones climáticas y el comportamiento del río. De esta manera, se espera identificar las irregularidades de este evento en particular que causaron deslizamientos y arrastre de terreno en zonas vulnerables. A través de este trabajo se espera

aportar información clave para la gestión del riesgo hídrico, la planificación urbana sostenible y la prevención de desbordes. Finalmente, el estudio busca fortalecer la toma de decisiones de las autoridades locales y promover estrategias de mitigación ante futuros eventos extremos.

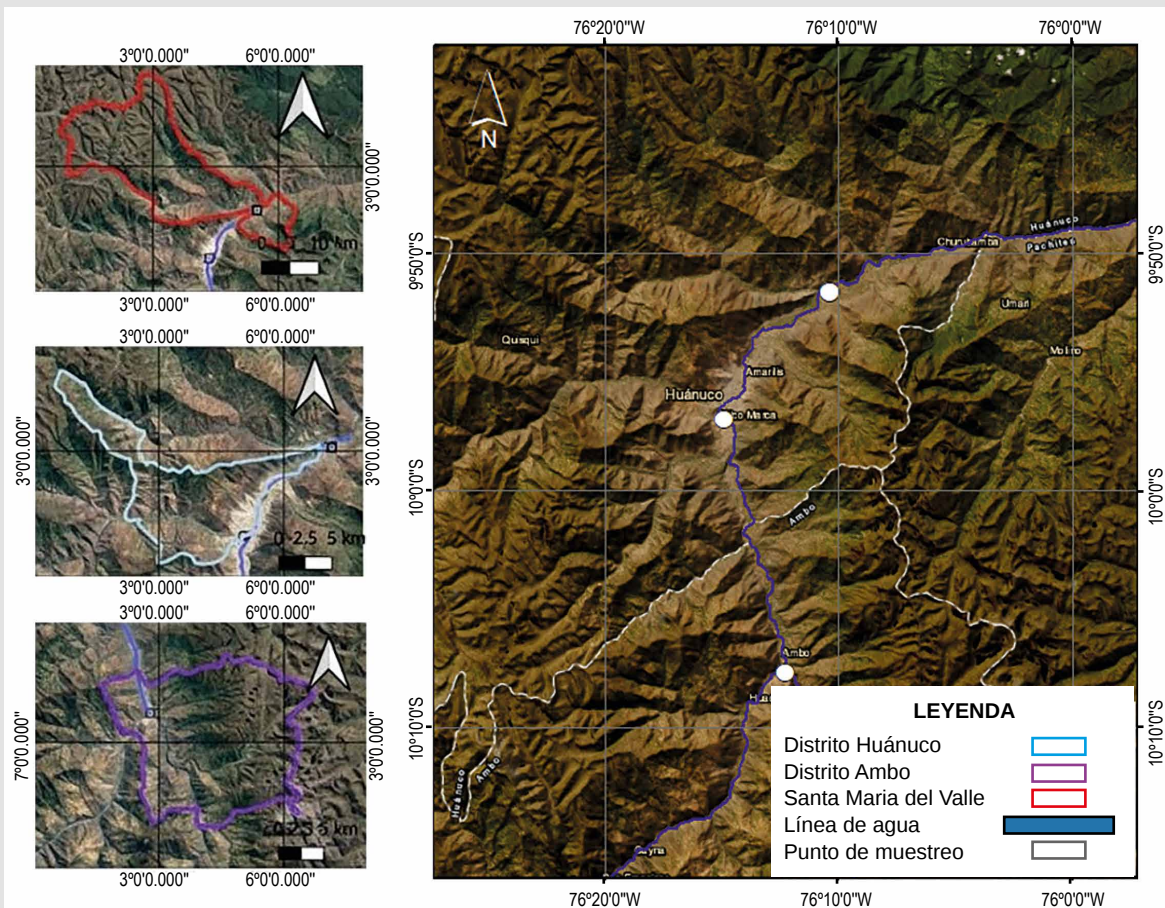
Métodos

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en las inmediaciones de la ciudad y del valle, abarcando tres zonas geográficas de especial interés: la ciudad de Huánuco, el distrito de Santa María del Valle y la provincia de Ambo, situada al sur de la ciudad de Huánuco. Estas zonas fueron seleccionadas por su exposición directa a la variabilidad de la precipitación y a sus impactos hidrológicos sobre la infraestructura urbana y los terrenos agrícolas adyacentes. El valle de Huánuco constituye un espacio interandino de transición entre la sierra y la selva alta del país, con una altitud promedio de 1890 m s. n. m., atravesado por el río Huallaga y sus afluentes, entre los que destacan los ríos Higuera y Huertas (ver Figura 1). Su ubicación estratégica, unida a la concentración poblacional y la expansión urbana hacia las riberas, genera una alta vulnerabilidad frente a eventos de lluvias intensas y desbordes fluviales (Info Perú, s.f.).

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio. El mapa presenta tres áreas de estudio correspondientes a los distritos de Huánuco, Ambo y Santa María del Valle, señaladas con colores distintos. Se pueden observar los valles y el cauce principal del río Huallaga y los puntos de estudio



Fuente de datos

Se utilizaron datos hidrometeorológicos provenientes de las estaciones operadas por el SENAMHI y la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Para el análisis de la precipitación, se emplearon registros de estaciones pluviométricas ubicadas en el entorno de Huánuco, a saber:

- Estación Huánuco (Lat: 09° 57' 7.24"; Lon: 76° 14' 54.80")
- Estación Ambo (Lat: 10° 19' 45.27"; Lon: 76° 10' 35.47")

Para el análisis de caudal, se utilizaron las siguientes estaciones hidrométricas:

- Estación Higueras (Lat: 09° 55' 19.92"; Lon: 76° 18' 33.76")
- Estación San Rafael (Lat: 10° 20' 23.65"; Lon: 76° 10' 56.65")
- Estación Taruca (Lat: 09° 51' 01"; Lon: 76° 09' 07")

Los datos fueron obtenidos a través de las plataformas oficiales del SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe>) y del ANA (Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos) (<https://snirh.ana.gob.pe>). Todos los registros fueron validados previamente, lo que aseguró la consistencia, la continuidad temporal y el control de calidad.

Procedimiento de obtención y detección de anomalías

La obtención y el procesamiento de datos se desarrollaron a partir de los registros diarios de precipitación y caudal correspondientes al periodo comprendido entre 2015 y 2025 para precipitación y entre 2020 y 2025 para caudal, con énfasis en el primer trimestre de 2025. La información se recopiló de las estaciones operativas más cercanas a la ciudad de Huánuco y a su entorno inmediato.

Para la identificación de anomalías en las variables analizadas, se aplicaron métodos estadísticos estandarizados que permitieron cuantificar la magnitud y frecuencia de los eventos anómalos, los cuales se expresan mediante las siguientes fórmulas:

a) Cálculo de la anomalía estandarizada (Z-score)

Para el análisis de anomalías de caudal, se utilizó el método del *Z-score* para evaluar la desviación del valor observado respecto al promedio histórico, normalizada por la variabilidad de la serie. Se utilizó la siguiente expresión:

$$Z = (X - \mu) / \sigma$$

Donde:

El cálculo de la anomalía estandarizada (*Z-score*) se obtiene aplicando la fórmula previamente descrita, en la que se divide la diferencia entre un valor individual (X) y la media de la población (μ) por la desviación estándar de la población (σ). El resultado (Z) indica cuántas desviaciones representa un punto de datos con respecto a la media, ya sea por encima o por debajo de esta.

Índice de precipitación estandarizado (SPI)

$$SPI = \frac{P_t - P^-}{\sigma}$$

En el caso de las anomalías de precipitación, se utilizó el índice de precipitación estandarizado (SPI). Ello se calcula transformando los datos de precipitación acumulada en una distribución de probabilidad estándar, donde P_t es la precipitación observada, P^- es la precipitación promedio histórica y σ es la desviación estándar

del conjunto de datos. Sirve para comparar la precipitación actual con la histórica y clasificar los eventos de sequía en leve, moderada, severa o extrema, lo que permite tomar decisiones en la agricultura, la gestión de recursos hídricos y la planificación.

Una vez calculadas las anomalías, se generaron en Microsoft Excel series temporales y gráficos de tendencia mensual. Finalmente, se realizó una correlación cruzada entre las anomalías detectadas y los eventos de impacto físico reportados por Defensa Civil y la ANA, tales como inundaciones, desbordamientos, erosión de taludes y deslizamientos. Esto permitió analizar los impactos en la infraestructura urbana y en los terrenos aledaños de la ciudad de Huánuco, causados por los eventos hidrometeorológicos extremos del primer trimestre de 2025.

Procesamiento de la información

El tratamiento de la información se llevó a cabo en varias fases. En primer lugar, se realizó la depuración de datos de precipitación y caudal correspondientes al periodo 2000-2025, lo que implicó eliminar registros inconsistentes, completar las series temporales cuando fuese necesario y verificar la presencia de valores atípicos (*outliers*) siguiendo criterios estadísticos y recomendaciones de la literatura especializada. Luego, los datos depurados se estructuraron en hojas de cálculo para su organización y análisis, aplicando herramientas estadísticas estándar para identificar anomalías expresadas en porcentaje y determinar las desviaciones respecto a los valores promedio del periodo de referencia 2000-2025. Finalmente, este procesamiento permitió caracterizar los eventos hidrometeorológicos anómalos y relacionarlos con los impactos observados en la infraestructura y en los terrenos adyacentes a la ciudad de Huánuco.

Análisis estadístico

El análisis estadístico aplicado permitió evaluar las anomalías hidrológicas registradas durante el primer trimestre de 2025 en la cuenca media del río Huallaga. Para realizar este procedimiento, se basó en métodos estadísticos descriptivos e inferenciales que permitieron identificar patrones anómalos, contrastar los valores mensuales con los promedios históricos y analizar la magnitud de las variables hidrometeorológicas de caudal y de precipitación.

Resultados

Análisis del caudal

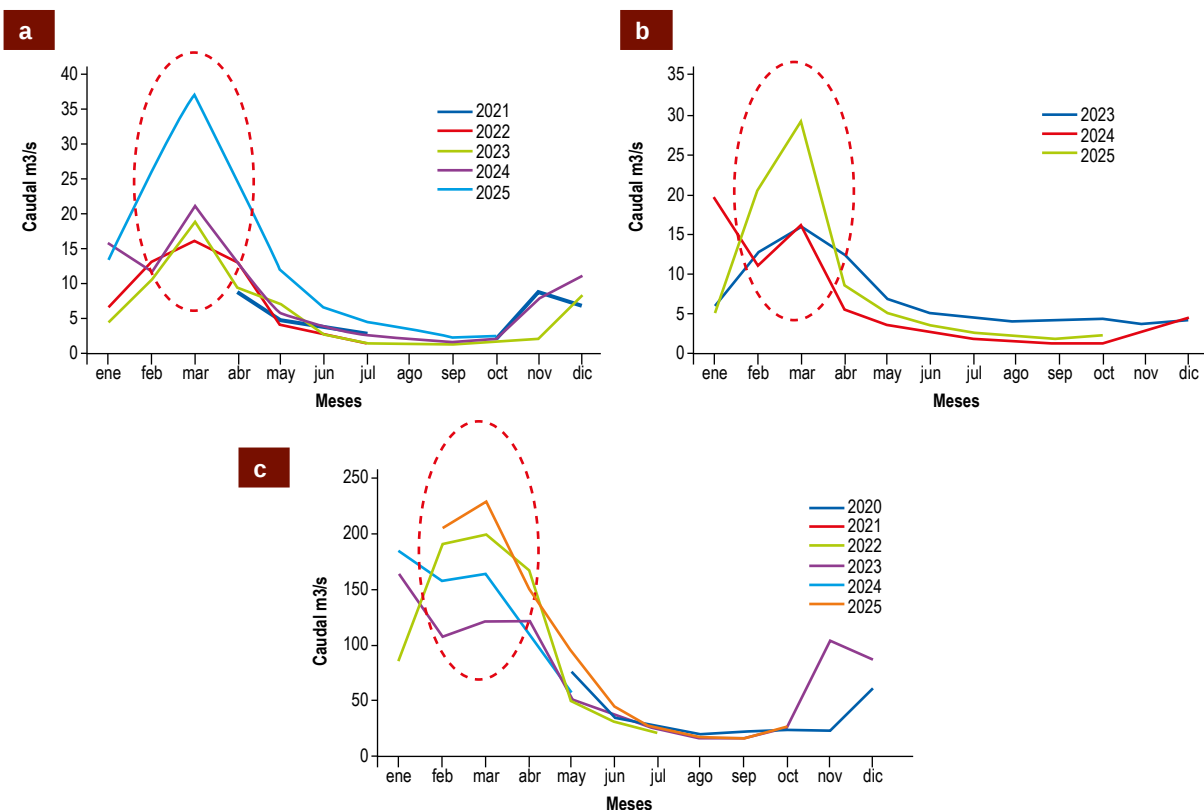
En la Figura 2 se presenta el análisis del caudal de las estaciones Higueras, San Rafael y Taruca, que evidencia un patrón estable en los años previos a 2025. En términos generales, los caudales presentan incrementos progresivos desde enero, alcanzan su máximo en marzo y descienden rápidamente hacia abril. Los valores mínimos se registran entre junio y septiembre, con caudales que se mantienen por debajo de 5 m³/s en Higueras y San Rafael, y de 20 m³/s en Taruca. En la estación Higueras, los caudales de febrero y marzo de 2025 presentan incrementos sin precedentes en la serie histórica: en febrero, el caudal alcanza aproximadamente 27 m³/s, superando en un 40-60 % los valores típicos (10-20 m³/s), mientras que en marzo se registra el valor más alto de toda la serie: 37 m³/s, casi el doble del promedio histórico (15-21 m³/s). En la estación San Rafael, las anomalías detectadas son coherentes con las observadas en la estación Higueras. En febrero de 2025 se registran aproximadamente 20 m³/s, superando en un 40-60 % la media histórica. En marzo de 2025, el caudal asciende a 30 m³/s, un incremento cercano al 80 % respecto al valor esperado (≈ 16 m³/s). Asimismo, en la estación Taruca, caracterizada por caudales naturalmente mayores, se registran anomalías: en febrero de 2025, el caudal alcanza 210 m³/s, ligeramente superior al rango normal (150-200 m³/s), y en marzo se eleva a 225 m³/s, superando entre el 20 % y el 30 % el comportamiento esperado (160-180 m³/s).

Análisis temporal anual de la precipitación

En la Figura 3 se observa que, entre 2020 y 2021, los niveles de precipitación disminuyeron progresivamente y se mantuvieron por debajo del promedio histórico. Sin embargo, a partir de 2025 se registra un incremento

Figura 2

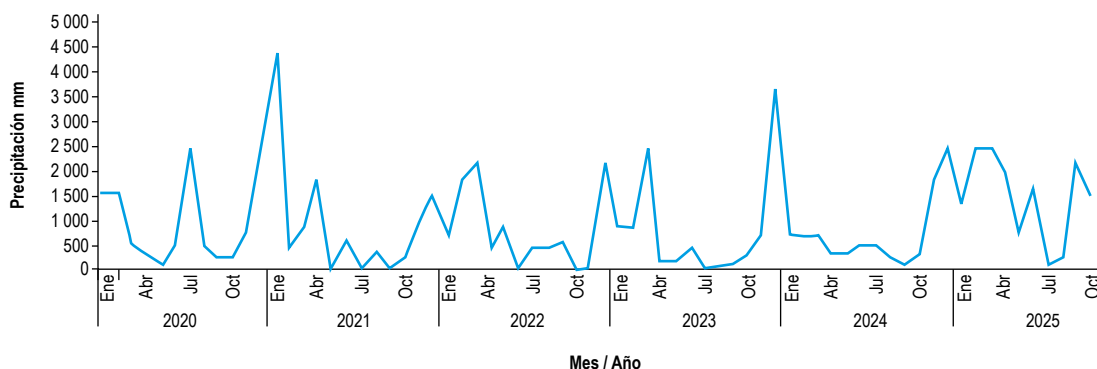
Registro anual y mensual de caudal por cada estación: (a) estación Higueras, (b) estación San Rafael y (c) estación Taruca



considerable en la precipitación total anual, lo que constituye una anomalía positiva respecto a los años previos. Este aumento abrupto de las lluvias durante 2025 refleja un cambio notable en el comportamiento climático reciente, lo que ha generado eventos de alta intensidad que han provocado desbordamientos, inundaciones y afectaciones a la infraestructura de la ciudad de Huánuco. Asimismo, se evidencia una marcada variación mensual de la precipitación durante el primer trimestre de 2025. El mes de febrero registró el mayor nivel de precipitaciones, superando significativamente los de enero y de marzo. Este incremento anómalo de las lluvias evidencia una situación atípica respecto a los promedios mensuales históricos, lo que generó un exceso de escorrentía superficial que contribuyó a la saturación de los suelos y al desbordamiento del río Huallaga. Dicho comportamiento refleja la influencia de eventos meteorológicos extremos, que afectaron directamente a la ciudad de Huánuco durante ese periodo.

Figura 3

Análisis de la precipitación anual y mensual

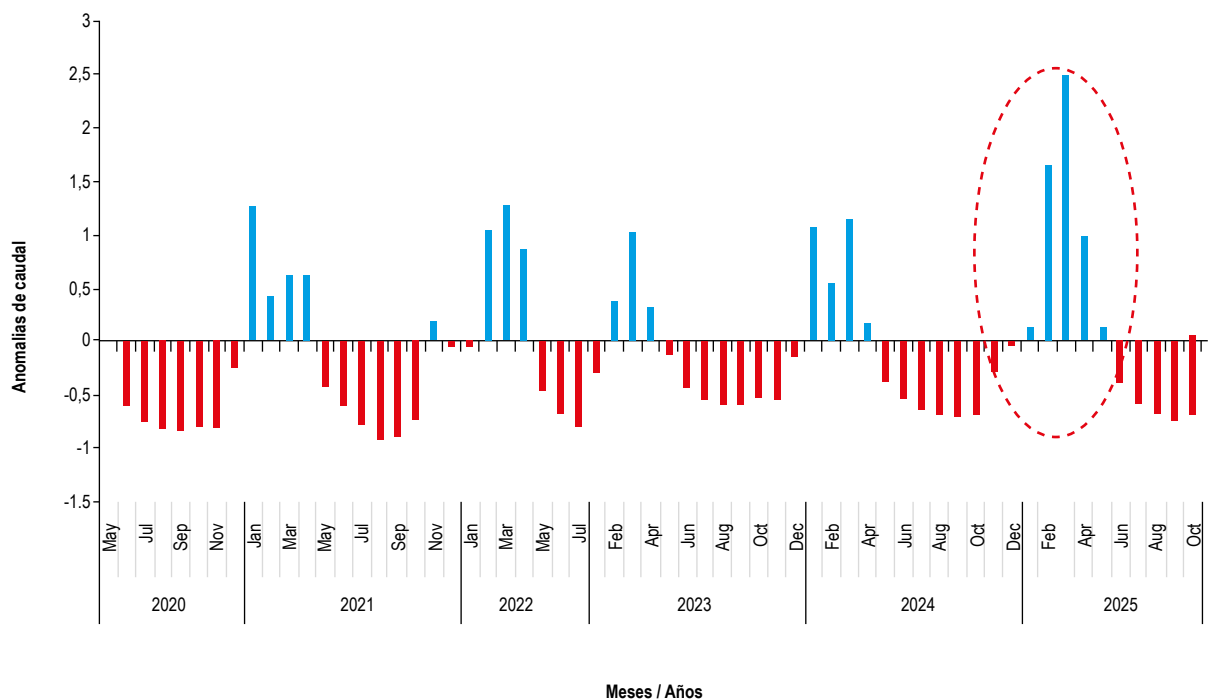


Anomalías de caudal

La Figura 4 muestra el promedio mensual de las anomalías de caudal y de precipitación entre 2020 y 2025. En él se observan barras rojas, que representan valores negativos (déficit), y barras azules, que reflejan anomalías positivas (excesos) respecto a los promedios históricos. Durante el periodo 2020-2024, predominan las anomalías con valores promedio de entre -0 y -1.5, lo que evidencia anomalías normales en los caudales. Sin embargo, en el primer trimestre de 2025 (enero-marzo) se produce un cambio abrupto, con anomalías positivas significativas, destacando valores superiores a 1.5 anomalías en febrero y cercanos a 2.5 en marzo. Este comportamiento sugiere la ocurrencia de un evento extremo de precipitación, con un incremento notable del caudal en los ríos y las quebradas que atraviesan la ciudad de Huánuco, asociado a precipitaciones excepcionales durante el periodo.

Figura 4

Anomalías del caudal en los últimos cinco años

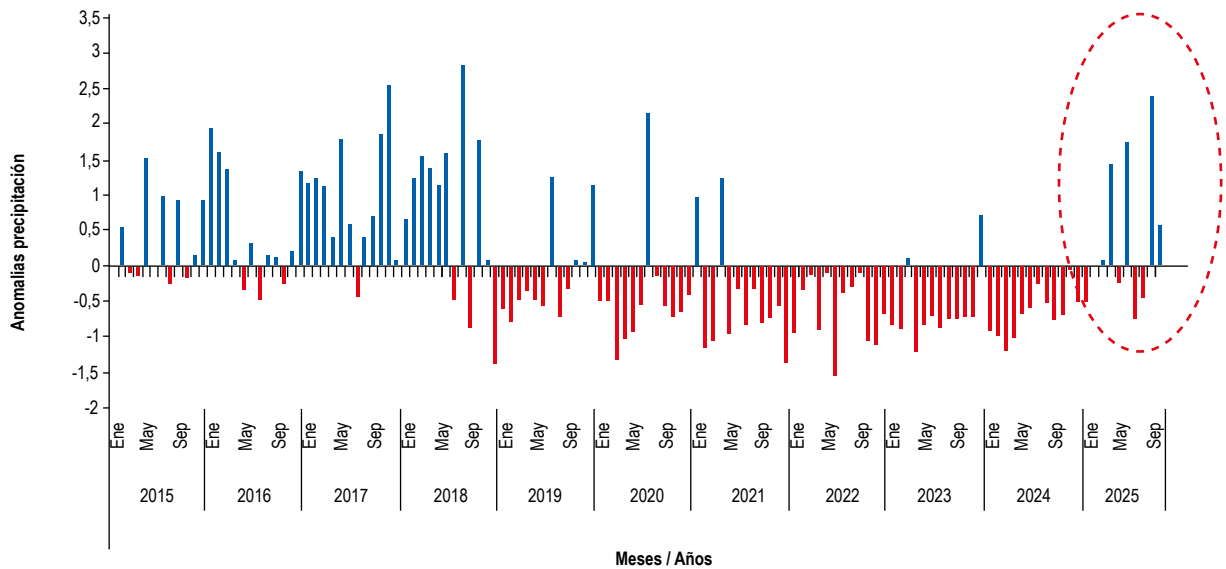


Anomalía de precipitación

La Figura 5 muestra la evolución temporal de las anomalías mensuales de precipitación durante el periodo 2015-2025. Los valores positivos (barras azules) indican meses en los que la precipitación superó los promedios históricos; los valores negativos (barras rojas) representan un déficit de lluvia respecto a dichos promedios. Se identifican picos altos, especialmente entre 2015 y 2017, en los que varios meses superan los valores de anomalía de 2.5 por encima de lo normal; de 2019 a 2025, se observa un patrón marcado de anomalías negativas repetitivas y profundas, con valores que oscilan entre 0 y 1.5 valores de anomalía.

Los valores registrados para enero, febrero y marzo de 2025 muestran una alta variabilidad en la precipitación, con eventos intensos concentrados principalmente en febrero, a pesar de que los valores acumulados mensuales no superan consistentemente el promedio histórico. Este comportamiento evidencia que los eventos extremos de corta duración pueden generar respuestas hidrológicas significativas sin requerir anomalías positivas sostenidas en la precipitación mensual.

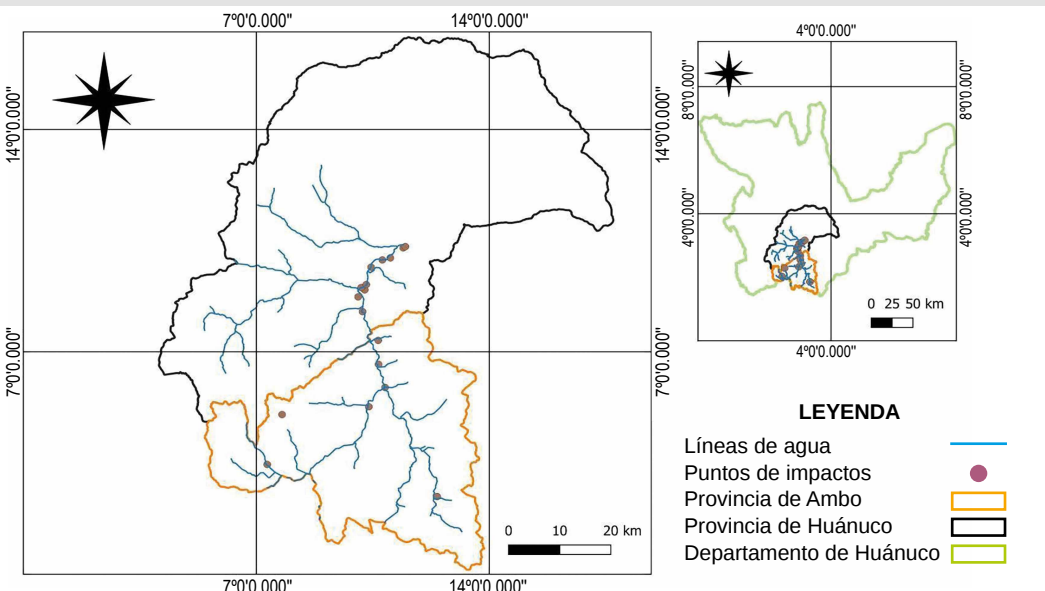
Figura 5
Anomalías de precipitación en los últimos diez años



Impactos materiales, ambientales y sociales

La Figura 6 presenta la distribución espacial de los impactos materiales, ambientales y sociales asociados a los eventos hidrometeorológicos del primer trimestre de 2025 en la cuenca media del río Huallaga. Estos impactos se concentran principalmente en zonas cercanas al cauce principal del río y en áreas con pendiente pronunciada, lo que evidencia la influencia de factores geomorfológicos en la ocurrencia de inundaciones y huaicos.

Figura 6
Mapa de los impactos materiales, ambientales y sociales



Coordenadas, tipo de daño y aspecto de los impactos ocasionados por el incremento del caudal y de la precipitación

La Tabla 1 complementa este análisis al detallar la ubicación geográfica, el tipo de evento y la naturaleza del impacto registrado en cada punto afectado. Se observa que los eventos de inundación predominan en zonas bajas y cercanas al río Huallaga, como Colpa Baja, Huácar y el puente Calicanto, lo que indica una relación directa con el desbordamiento del cauce principal. En contraste, los huaicos se presentan principalmente en zonas con mayor pendiente, como San Rafael, Cayna y Conchamarca, asociados a procesos de remoción en masa inducidos por la saturación del suelo.

Tabla 1

Cuadro de coordenadas, tipo de daño y aspecto de los impactos ocasionados por el incremento del caudal y de la precipitación

Lugar	Coordenadas		Tipo de daño	Aspecto
	Latitud	Longitud		
Colpa Baja	9°58'56.70"S	76°14'34.74"O	INUNDACIÓN	Ambiental
Puente Calicanto (Huánuco)	9°55'56.17"S	76°14'12.45"O	INUNDACIÓN	Infraestructural
San Rafael	10°19'42.26"S	76°6'33.39"O	HUAICO	Infraestructural
Pillco Marca	9°57'17.73"S	76°15'6.23"O	HUAICO	Social
Tomayquichua	10°4'53.54"S	76°12'54.35"O	INUNDACIÓN	Infraestructural
Amarilis	9°56'31.10"S	76°14'19.70"O	HUAICO	Social
Puente San Sebastián (Huánuco)	9°56'15.96"S	76°14'45.34"O	INUNDACIÓN	Infraestructural
Conchamarca	10°2'11.58"S	76°12'54.74"O	HUAICO	Ambiental
Colpa Baja (aeropuerto)	9°53'59.50"S	76°13'43.87"O	INUNDACIÓN	Ambiental
Huachog	9°53'10.64"S	76°12'33.25"O	INUNDACIÓN	Social
Distrito de Huácar	10°9'37.75"S	76°14'2.36"O	INUNDACIÓN	Infraestructural
Colpas (Ambo)	10°16'7.28"S	76°24'48.38"O	HUAICO	Social
Cayna	10°10'28.74"S	76°23'11.75"O	HUAICO	Social
Limón Pampa	9°50'00.9"S	76°45'00.76"O	INUNDACIÓN	Social
Cullcuy	9°52'58.20"S	76°11'34.88"O	HUAICO	Social

Impactos ambientales

La Figura 7 ilustra las consecuencias directas en el entorno debido a fenómenos hídricos y a deslizamientos de tierra. En la Figura 7a), el desbordamiento del río Huallaga provoca inundaciones en terrenos agrícolas, lo que se traduce en el encharcamiento del suelo, la eliminación de la vegetación y una disminución de la fertilidad del suelo. En la Figura 7b), los deslizamientos de lodo y rocas en Conchamarca dañan la tierra al cubrir los cultivos y al eliminar la capa nutritiva. En la Figura 7c), otro desbordamiento en Colpa Baja incrementa la acumulación de sedimentos y transforma la composición del suelo. En conjunto, estas repercusiones disminuyen la capacidad productiva agrícola, alteran las características físico-químicas del terreno y elevan el riesgo de eventos extremos en el futuro.

Figura 7

Evidencia de los impactos en el ambiente: (a) el desborde del río Huallaga afecta los sembríos; (b) impacto en el área de cultivo de Conchamarca debido al desprendimiento de lodos y piedras, y (c) impacto en el área de cultivo de Colpa Baja debido al desborde del río Huallaga.



Impactos en la infraestructura

Según lo mostrado en la Figura 8, se observan afectaciones directas a la infraestructura asociadas al incremento del caudal del río Huallaga y a procesos de remoción en masa. En las Figuras 8a), 8b) y 8c), el aumento del nivel del río en los puentes Calicanto, Tomayquichua y San Sebastián genera riesgos de socavación, erosión y pérdida de la funcionalidad vial. En la Figura 8d), el desplazamiento de lodos y rocas en San Rafael evidencia la inestabilidad del terreno y afecta a las viviendas. En la Figura 8e), el desborde en Huácar ocasiona inundaciones y deterioro estructural en edificaciones aledañas. En conjunto, estos eventos indican una alta vulnerabilidad de la infraestructura local frente a crecidas y deslizamientos, lo que afecta tanto la conectividad como la seguridad habitacional.

Figura 8

Evidencia de los impactos en la infraestructura: (a) incremento del río Huallaga en el puente Calicanto; (b) desplazamiento de lodos y piedras en San Rafael, con afectación de varias viviendas familiares cercanas; (c) incremento del río Huallaga en el puente de entrada a Tomayquichua; (d) incremento del río Huallaga en el puente San Sebastián, y (e) desbordamiento por incremento del caudal en el distrito de Huacar hacia viviendas aledañas.



Nota. Fuente: registros del trabajo de campo.

Impactos social

En la Figura 9, se muestran las repercusiones sociales derivadas de los desbordes y deslizamientos relacionados con el aumento del caudal del río Huallaga. En las Figuras 9a), 9b), 9c) y 9d), la movilidad local se ve interrumpida por el movimiento de piedras y lodo en el centro poblado de Cullcuy y en los distritos de Cayna, Amarilis y Pillco Marca, lo que supone un riesgo inmediato para los habitantes y una pérdida de caminos vitales. Las inundaciones de casas y áreas comunitarias en Huachog, Colpas (Ambo) y Limón Pampa, causadas por las crecidas del río, producen perjuicios materiales, la reubicación temporal de familias y la afectación de servicios esenciales.

En general, estos sucesos evidencian una significativa vulnerabilidad social ante fenómenos hidrometeorológicos extremos. Esta se manifiesta mediante la exposición de las personas a peligros físicos, la alteración de sus actividades diarias y el aumento de la necesidad de auxilio y de respuesta inmediata.

Figura 9

Evidencia de los impactos en el ámbito social: (a) desplazamiento de lodos y piedras en el distrito de Pillco Marca, (b) desplazamiento de lodos y piedras en el distrito de Amarilis, (c) desbordamiento del río Huallaga en el distrito de Huachong, (d) desborde en Colpas-Ambo debido al incremento del caudal, (e) deslizamiento de lodo y piedras de gran magnitud en el distrito de Cayna, (f) desbordamiento del río debido al incremento del caudal en Limón Pampa y (g) desplazamiento de lodos y piedras en el distrito de Cullcuy.



Nota. Fuente: registros del trabajo de campo.

Discusiones

La presencia de un pico mensual superior a 225 m³/s en marzo de 2025 confirma la respuesta hidrológica abrupta ante lluvias intensas. Este comportamiento coincide con el reporte del SENAMHI sobre desbordamientos en las cuencas de Loreto y Ucayali debido a precipitaciones extremas (Ramos, 2025). Asimismo, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2023) indica que las lluvias intensas pueden provocar un aumento del caudal de los ríos, superando en algunos casos el umbral máximo de los cauces y generando inundaciones que causan daños considerables a la infraestructura de servicios básicos.

La tendencia irregular de los caudales coincide estrechamente con el comportamiento de la precipitación observada durante el mismo periodo. Si bien en años previos (2020-2024) la precipitación se mantuvo por debajo del promedio histórico, el año 2025 registró un incremento abrupto en las lluvias, con febrero como el mes más crítico, lo que ocasionó un exceso de escorrentía superficial y la saturación de los suelos. Sardon et al. (2022) señalan en su inventario de eventos de inundación que los episodios de lluvias intensas con potencial de inundación no son completamente excepcionales, sino que pueden presentar cierta recurrencia. En ese sentido, se documentaron eventos múltiples entre 1981 y 2021, lo que sugiere que los desbordes son parte de la variabilidad hidrológica nacional, pero con niveles de riesgo que pueden variar. La respuesta de caudal observada en Taruca, Higuera y San Rafael refleja el mismo fenómeno documentado en cuencas urbanas y rurales de montaña, donde la saturación rápida del suelo y la morfología pronunciada del terreno provocan incrementos veloces y significativos en los caudales durante eventos pluviales extremos (Valencia y Nájera, 2018).

Los datos obtenidos en marzo de 2025 (hasta 225 m³/s en Taruca) son cuantitativamente más altos que los registrados en investigaciones afines en cuencas andinas, donde es habitual que los aumentos varíen entre el 20 % y el 50 % con respecto a la media (Valencia y Nájera, 2018). En este caso, los aumentos superaron el 80 %, lo que evidencia una respuesta hidrológica más fuerte de lo previsto. Esta disparidad podría estar vinculada a circunstancias locales, como la saturación del suelo previa y la geomorfología del valle de Huánuco, que potencian el escurrimiento superficial.

Los resultados obtenidos sugieren que el comportamiento hidrológico del año 2025 evidencia un régimen no estacionario, lo que implica que los parámetros históricos de diseño hidráulico (canales, puentes, defensas ribereñas, sistemas de desagüe) pueden resultar insuficientes ante eventos extremos futuros. (Jiménez-U et al., 2022) señalan que las condiciones climáticas cambiantes alteran la magnitud y la frecuencia de los máximos hidrológicos, por lo que los diseños basados únicamente en registros históricos ya no ofrecen un nivel de seguridad adecuado, lo que refuerza la necesidad de incorporar enfoques no estacionarios en la planificación y evaluación de obras hidráulicas. Por ello, analizar eventos hidrológicos anómalos y regímenes no estacionarios resulta crucial para comprender cómo las crecidas y las sequías extremas pueden superar los parámetros tradicionales de diseño. Los patrones históricos ya no garantizan la seguridad de la infraestructura ni permiten planificar de manera efectiva, ya que el cambio climático y las variaciones recientes en la precipitación alteran la frecuencia e intensidad de los eventos extremos. Analizar estas anomalías permite identificar vulnerabilidades existentes y diseñar medidas adaptativas que reduzcan riesgos y aumenten la resiliencia de los sistemas hidráulicos y la seguridad de la población frente a fenómenos futuros (Milly et al., 2008). Por ello, es importante comprender los eventos hidrológicos anómalos para fortalecer la gestión del riesgo y disminuir la exposición de las comunidades y de la infraestructura a posibles desastres. Este enfoque contribuye a planificar medidas preventivas más efectivas y a garantizar una mayor seguridad frente a crecidas e inundaciones (INDECI, 2023).

La interpretación de los resultados se encuentra condicionada por la disponibilidad temporal de las series históricas, que abarcan un periodo relativamente corto en términos hidrológicos (2020-2025), lo que impide realizar análisis de frecuencia robustos asociados a periodos de retorno. Asimismo, los datos analizados provienen exclusivamente de estaciones hidrométricas específicas, lo que puede limitar la extrapolación espacial a otras microcuencas de Huánuco debido a diferencias en altitud, geomorfología y características de uso del suelo. Otra limitación es la ausencia de información detallada sobre intervenciones antrópicas (deforestación, expansión urbana, impermeabilización de suelos), que también influyen en la respuesta del caudal. Asimismo, no se consideró una modelación hidráulica que posibilitara cuantificar el impacto estructural sobre la infraestructura, de modo que los resultados describen la amenaza hidrológica, pero no cuantifican los daños potenciales ni los niveles de riesgo.

Conclusiones

El comportamiento hidrológico observado en la cuenca media del río Huallaga durante el primer trimestre de 2025 evidencia una anomalía significativa, caracterizada por incrementos extremos de caudal que no guardan una proporcionalidad directa con los acumulados mensuales de precipitación. Los registros muestran que, en marzo de 2025, los caudales alcanzaron valores máximos de aproximadamente 37 m³/s en la estación Higuera, 30 m³/s en la estación San Rafael y 225 m³/s en la estación Taruca, superando hasta en un 80 % los medios

históricos, lo que confirma la ocurrencia de un evento hidrológico extremo. Este desacople entre precipitación y caudal demuestra que la respuesta hidrológica de la cuenca está fuertemente influenciada por procesos no lineales, tales como la saturación del suelo, la concentración temporal de lluvias intensas y los aportes de las zonas altoandinas. En consecuencia, se evidencia que el análisis basado únicamente en promedios mensuales resulta insuficiente para explicar eventos extremos.

Los resultados confirman la presencia de un régimen hidrológico no estacionario en la región, lo que implica que los trabajos tradicionales de diseño hidráulico basados en condiciones históricas estables podrían perder validez ante la variabilidad climática actual. Este hallazgo tiene implicancias directas en la ingeniería hidráulica y la planificación territorial, ya que incrementa la probabilidad de fallas en la infraestructura diseñada según criterios convencionales. Asimismo, los impactos observados, como inundaciones, huaicos y afectación de infraestructura vial, viviendas y áreas agrícolas, evidencian una alta exposición y vulnerabilidad del territorio frente a eventos hidrometeorológicos extremos, especialmente en zonas urbanas que se expanden hacia áreas de riesgo. En este contexto, se concluye que la gestión del riesgo en la cuenca del río Huallaga requiere una transición hacia enfoques integrados que incorporen el análisis de eventos extremos, las condiciones no estacionarias y el monitoreo en tiempo real. Se recomienda priorizar la actualización de criterios de diseño hidráulico, la implementación de sistemas de alerta temprana más robustos y la restricción de la expansión urbana en zonas inundables de alto riesgo como medidas clave para reducir la vulnerabilidad futura.

Referencias

- Afroz, R., Johnson, F., & Sharma, A. (2021). The residual mass severity index – A new method to characterize sustained hydroclimatic extremes. *Journal of Hydrology*, 602, 126724. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126724>
- Alvarez-Garreton, C., Boisier, J. P., Garreaud, R., Seibert, J., & Vis, M. (2021). Progressive water deficits during multiyear droughts in basins with long hydrological memory in Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(1).
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2023). *Escenarios de riesgo por lluvias para el verano (enero-marzo) 2024. Actualización (con base en el Informe Técnico N.º 10-2023/SENAMHI-DMA-SPC)*. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/16571_escenarios-de-riesgo-por-lluvias-para-el-verano-2024-enero-marzo-actualizacion-basado-en-el-informe-tecnico-n0010-2023senamhi-dma-spc.pdf
- Dharmarathne, G., Waduge, A. O., Bogahawaththa, M., Rathnayake, U., & Meddage, D. P. P. (2024). Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding. *Results in Engineering*, 22, 102123. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102123>
- Espinoza, A. (2025, 6 de marzo). Huánuco: 6 distritos inundados por desborde del río Huallaga y Senamhi alerta un nuevo 'fenómeno meteorológico peligroso'. *Infobae*. <https://www.infobae.com/peru/2025/03/06/huanuco-6-distritos-inundados-por-desborde-del-rio-huallaga-y-senamhi-alerta-nuevo-fenomeno-meteorologico-peligroso/>
- Fan, X., Hofmeister, F., Schaeffli, B., & Chiogna, G. (2025). Physics-based simulation of hydrological processes in a high-elevation glaciated environment focusing on groundwater [Preprint]. *EGU sphere*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-1500>
- Grimm, A. M., & Tedeschi, R. G. (2009). ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, 22(7), 1589-1609. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1>
- Info Perú. (s.f.). *Geografía de Huánuco*. <https://www.iperu.org/geografia-de-huanuco-peru>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2023, 13 de octubre). *IN-DECI recomienda medidas de preparación ante lluvias intensas e inundaciones*. Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/indeci/noticias/853851-indeci-recomienda-medidas-de-preparacion-ante-lluvias-intensas-e-inundaciones>
- Jiménez-U, M., Peña, L. E., & López, J. (2022). Non-stationary analysis for road drainage design under land-use and climate change scenarios. *Heliyon*, 8(2), e08942. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08942>
- Lopardo, L. J., Salvi, P. E., & Lopardo, M. C. (2023). Obras de mitigación sustentables aplicadas a inundaciones urbanas. *Multidisciplinar do UniSantaCruz*, 2(1), e389. <https://doi.org/10.55905/rmuscv2n1-003>
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity is dead: whither water management? *Science*, 319(5863), 573-574.
- Nasta, P., Allocca, C., Deidda, R., & Romano, N. (2020). Assessing the impact of seasonal-rainfall anomalies on catchment-scale water balance components. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(6), 3211-3227. <https://doi.org/10.5194/hess-24-3211-2020>
- Ramos, V. (2025, 13 de abril). Ante intensas lluvias: Senamhi emite cuatro alertas rojas por desborde de ríos en Loreto y Ucayali. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/2025/04/13/ante-intensas-lluvias-senamhi-emite-cuatro-alertas-rojas-por-desborde-de-rios-en-loreto-y-ucayali-176462>
- Redacción RPP. (2025, 7 de marzo). Huánuco: desborde del río Huallaga afecta al menos a 400 hectáreas de cultivos y 19 colegios. *RPP*. <https://rpp.pe/peru/actualidad/huanuco-desborde-del-rio-huallaga-afecta-al-menos-a-400-hectareas-de-cultivos-y-19-colegios-noticia-1620423>

- Rey Valencia, D. M., y Zambrano Nájera, J. D. C. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palogrande. *Revista UIS Ingenierías*, 17(1), 115-126. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018011>
- Sardon, H., Lavado-Casimiro, W., y Felipe, O. (2022). *Inventario de datos de eventos de inundaciones del Perú. Estudio final*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-99.pdf>
- Sui, X., Yang, Z.-L., Shepherd, M., & Niyogi, D. (2024). Global scale assessment of urban precipitation anomalies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(38), e2311496121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2311496121>
- Walczkiewicz, T., & Skonieczna, M. (2020). Rainfall flooding in urban areas in the context of geomorphological aspects. *Geosciences*, 10(11), 457. <https://doi.org/10.3390/geosciences10110457>
- Yang, L., Yang, Y., Shen, Y., Yang, J., Zheng, G., Smith, J., & Niyogi, D. (2024). Urban development patterns' influence on extreme rainfall occurrences. *Nature Communications*, 15(1), 3997. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48533-5>
- Tu Diario Huánuco. (2025, 11 de marzo). *Desborde del río Huallaga dañó canal de riego y 150 hectáreas de cultivos en Colpa Baja*. <https://tudiariohuanuco.pe/actualidad/desborde-del-rio-huallaga-dano-canal-de-riego-y-150-hectareas-de-cultivos-en-colpa-baja/>
- León, J. (2025, 6 de marzo). Seis distritos de Huánuco inundados por el desborde del río Huallaga. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/2025/03/06/seis-distritos-de-huanuco-inundados-por-el-desborde-del-rio-huallaga-hnews-230394>

Contribución de los autores

Los autores desarrollaron la investigación en su totalidad.

Fuentes de financiamiento

El financiamiento fue realizado con recursos propios de los autores.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Correspondencia:

Jorge Romero-Estacio
E-mail: jromero@senamhi.gob.pe