



ARTÍCULO ORIGINAL

Simulación hidrológica de la cuenca del río Huallaga con software SWAT para determinar el comportamiento del recurso hídrico, 1947-2025

Yasser Vásquez Baca^{1,a} | Marino Percy Yauri Maylle^{1,b} | Draysi Bartolomé Espiritu^{1,b} | Mirtha Judith Valenzuela Primo^{1,b}

Filiación Institucional

¹. Universidad De Huánuco, Huánuco, Perú

Grado Académico

^a. Título de máster universitario en planificación territorial y gestión ambiental - Docente en la Universidad de Huánuco

^b. Estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental

Palabras clave:

Hidrología, Modelos hidrológicos, Variabilidad climática, Cuencas hidrográficas, Gestión de recursos hídricos.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la variabilidad hidrometeorológica de la cuenca del río Huallaga durante el periodo 1947–2025 mediante la aplicación del modelo hidrológico SWAT, integrando datos históricos de precipitación, temperatura, escorrentía y caudal. Para ello, se procesaron registros hidrometeorológicos y cartográficos, configurando unidades de respuesta hidrológica (HRU) y aplicando procesos de calibración y validación. Los resultados muestran que la precipitación es el principal regulador del comportamiento hídrico, evidenciándose una correlación positiva con el caudal mensual ($r = 0.74$). Las zonas con mayor cobertura vegetal presentaron menor fluctuación en la escorrentía, demostrando un efecto regulador sobre la dinámica hídrica. La escorrentía superficial varió entre 136 y 314 mm, mientras que el caudal medio anual se ubicó entre 70.24 y 150.51 m³/s, destacándose años húmedos como 1973, 2011 y 2012. El modelo alcanzó un desempeño satisfactorio (NSE = 0.72; PBIAS = 5.8 %), reflejando buena concordancia entre valores observados y simulados. El estudio demuestra que la cuenca mantiene un equilibrio hidrológico condicionado por la variabilidad climática y la cobertura vegetal, aportando un modelo calibrado que puede emplearse como herramienta para la gestión integrada del recurso hídrico en escenarios futuros.

Hydrological simulation of the Huallaga river basin with SWAT software to determine the behavior of the water resource, 1947-2025

Key words:

Hydrology, Hydrological models, Climatic variability, River basins, Water resources management.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the hydrometeorological variability of the Huallaga River basin during the period 1947–2025 by applying the SWAT hydrological model, integrating historical data on precipitation, temperature, runoff, and streamflow. Hydrometeorological and cartographic records were processed to configure hydrological response units (HRUs), followed by calibration and validation procedures to ensure model reliability. The results indicate that precipitation is the main driver of the basin's hydrological behavior, showing a strong positive correlation with monthly streamflow ($r = 0.74$). Areas with greater vegetation cover exhibited lower fluctuations in runoff, demonstrating their regulatory effect on the hydrological system. Surface runoff ranged between 136 and 314 mm, while the annual mean streamflow varied from 70.24 to 150.51 m³/s. The model achieved satisfactory performance (NSE = 0.72; PBIAS = 5.8%), reflecting good agreement between observed and simulated values. The findings reveal that the basin maintains a hydrological balance influenced by climatic variability and vegetation cover. Additionally, the calibrated model provides a practical tool for water resource management, allowing the identification of vulnerable zones, supporting hydraulic planning, and aiding the development of future hydrological scenarios to guide decision-making in Andean–Amazonian basins.

Citar como: Vásquez Baca, Y., Maylle, M. P., Bartolomé Espiritu, D., & Valenzuela Primo, M. J. Simulación hidrológica de la cuenca del río Huallaga con software SWAT para determinar el comportamiento del recurso hídrico, 1947-2025. Revista de Investigación y Amazonía. 2026, 16(1): 23-31. DOI: <https://doi.org/10.69507/revia.3.16.1.437>



INTRODUCCIÓN

El cambio climático viene modificando de manera sustancial el ciclo hidrológico a escala global. El IPCC (2022) advierte que “la intensificación de sequías, inundaciones y variaciones en los caudales compromete la seguridad hídrica y la sostenibilidad de los ecosistemas”. En la misma línea, Buytaert y De Bièvre (2012) señalan que el retroceso glaciar y los cambios térmicos están afectando de manera crítica la disponibilidad de agua en los Andes tropicales. Asimismo, Huang y Swain (2022) indican que “la degradación de la cobertura vegetal y el uso intensivo del suelo generan variaciones en la infiltración, evapotranspiración y escorrentía”. Vuille et al. (2018) complementan este panorama señalando que “el rápido declive de nieve y hielo en los Andes tropicales afecta la estabilidad hídrica y aumenta los desafíos futuros”, mientras que Rodríguez-Iturbe y Rinaldo (2001) destacan que “las cuencas fluviales responden a la autoorganización de los procesos hidrológicos”.

Los sistemas hidrológicos presentan un comportamiento dinámico influido por la climatología, la topografía y el uso del suelo. Según Chow, Maidment y Mays (1994), “el ciclo hidrológico depende de condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de cobertura”. Este comportamiento es explicado con mayor detalle en lineamientos técnicos nacionales como los elaborados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, s. f.), que enfatizan la importancia de la caracterización integral del balance hídrico en cuencas altoandinas. Del mismo modo, Hidalgo et al. (2019) evidencian que el cambio en la cobertura vegetal modifica significativamente el balance hídrico y la calidad del agua en ecosistemas de páramo, mientras que Martínez-Retureta et al. (2020) demostraron que la transformación del uso del suelo altera la respuesta hidrológica en cuencas chilenas. Complementariamente, Moreno (2022) señala que “se proyectan disminuciones significativas en los flujos de agua azul y variaciones espaciales en la disponibilidad hídrica”, mientras que Carrillo (2018) afirma que “la falta de información sistematizada impide diseñar políticas eficaces de regulación hídrica”. Asimismo, Parra (2023) advierte que “sin medidas de adaptación, la disponibilidad hídrica disminuiría en épocas secas y aumentaría la ocurrencia de caudales extremos en épocas lluviosas”.

En el Perú, la vulnerabilidad hidrológica asociada al cambio climático es particularmente evidente. Neciosup (2024) advierte que “la cuenca del Pachitea presenta alta vulnerabilidad frente al cambio climático, con incrementos de precipitación y alteraciones del régimen de caudales”, situación comparable a la documentada en la cuenca del Huallaga, donde la deforestación y la expansión agrícola aumentan la exposición a sequías e inundaciones. Paiva et al. (2023) concluyen que “la deforestación incrementa la

escorrentía superficial en 38 % y eleva el caudal mensual en 12 %”, mientras que Cubas y Ocaña (2023) evidencian que el análisis hidrológico del río Huallaga muestra variaciones importantes en el comportamiento del caudal, observándose reducciones durante periodos de estiaje y aumentos significativos asociados a eventos de precipitación intensa. A ello se suma lo señalado por Álvarez y Huamán (2022), quienes destacan que “la estimación de caudales ecológicos contribuye a la sostenibilidad de actividades como la agricultura y la pesca”, así como lo planteado por Sun et al. (2022), para quienes “los patrones de caudal responden de manera sensible a las variaciones de temperatura y precipitación proyectadas”. Finalmente, Carrillo (2018) enfatiza que “la falta de estudios integrales limita la gestión sostenible del recurso hídrico”, y Parra (2023) sostiene que “la cuenca podría enfrentar un incremento de riesgos hidrológicos en escenarios climáticos futuros”.

La modelación hidrológica constituye una herramienta imprescindible para analizar estos procesos. Arnold et al. (2012) destacan que “los modelos hidrológicos permiten evaluar el impacto de la gestión del suelo sobre la cantidad y calidad del agua”. Neitsch et al. (2011) explican que “SWAT opera mediante unidades de respuesta hidrológica que simulan procesos de escorrentía, infiltración y evapotranspiración”. Asurza-Véliz y Lavado-Casimiro (2020) muestran que la calibración y parametrización del modelo SWAT permite representar de manera adecuada cuencas peruanas del Pacífico. Moriasi et al. (2007) agregan que “los indicadores NSE, PBIAS y R^2 constituyen criterios fundamentales para evaluar el desempeño de un modelo hidrológico”, mientras que Zhang et al. (2021) exponen que “la calibración basada en algoritmos evolutivos mejora la precisión de las simulaciones hidrológicas”.

En Huánuco, diversos estudios científicos respaldan la necesidad de realizar análisis hidrológicos rigurosos. Cubas y Ocaña (2023) señalan que el comportamiento hidrológico del río Huallaga presenta variaciones asociadas tanto a la dinámica climática como a las condiciones geomorfológicas de la cuenca, lo que influye directamente en la disponibilidad del recurso hídrico. Asimismo, investigaciones hidrometeorológicas evidencian que las variaciones en temperatura y precipitación generan fluctuaciones notorias en el caudal medio anual. De igual manera, se ha determinado que los incrementos en la precipitación producen aumentos proporcionales en los flujos de agua superficial, lo que refleja la sensibilidad del sistema hidrológico frente a los cambios climáticos. Bajo este escenario, el presente estudio propone analizar la variabilidad hidrometeorológica del río Huallaga durante el periodo 1947–2025, con el propósito de generar evidencia científica que contribuya a la gestión sostenible del recurso hídrico en una cuenca altamente vulnerable al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y diseño no experimental, dado que se emplearon datos históricos para analizar la dinámica hidrológica de la cuenca del río Huallaga sin manipular las variables. Este planteamiento se sustenta en los lineamientos metodológicos descritos por Sampieri y Mendoza (2018), quienes establecen que los estudios cuantitativos permiten analizar patrones temporales y relaciones entre variables hidrometeorológicas. El método aplicado fue descriptivo–correlacional, orientado a determinar la relación entre la precipitación, temperatura, escorrentía y caudal durante el periodo 1947–2025.

El proceso metodológico consistió en la recopilación, verificación y homogenización de datos hidrometeorológicos. Para la estimación de la evapotranspiración se aplicaron los métodos de Hargreaves y Samani (1985) y Allen et al. (1998), recomendados para estudios con disponibilidad limitada de variables climáticas. Los datos fueron procesados mediante el software SWAT 2012 ejecutado en el entorno de ArcGIS 10.8, siguiendo las recomendaciones metodológicas de Addis et al. (2016), quienes destacan la utilidad del modelo para evaluar escorrentía y sedimentos en cuencas montañosas. Asimismo, se generó el modelo digital de elevación, la red hidrográfica y las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), de acuerdo con los lineamientos de Guo et al. (2016) para modelaciones hidroclimáticas sujetas a cambios de uso del suelo.

La parametrización del modelo siguió los criterios expuestos por Asurza-Véliz y Lavado-Casimiro (2020), quienes proponen estimaciones regionales para mejorar la representación hidrológica en cuencas peruanas. Asimismo, se consideraron experiencias previas de modelación en zonas altoandinas reportadas por Chahuara et al. (2022), quienes validaron el uso de SWAT para evaluar la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Ilave. La simulación de procesos de precipitación, escorrentía

y caudal incluyó la evaluación del desempeño mediante los indicadores estadísticos Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) y Percent Bias (PBIAS), conforme a los lineamientos establecidos por Moriasi et al. (2007).

Adicionalmente, se realizaron análisis descriptivos y correlacionales utilizando Microsoft Excel 2021 e INFOSTAT para interpretar la variabilidad temporal de las variables hidrológicas. El estudio se condujo bajo los principios éticos de respeto, beneficencia y justicia, garantizando la transparencia del proceso, la confidencialidad de la información y el uso responsable de los datos secundarios, conforme a las normas de integridad científica y ética en la investigación.

RESULTADOS

El modelo hidrológico SWAT generó resultados representativos del comportamiento hídrico de la cuenca del río Huallaga durante el periodo 1947–2025, mostrando una variabilidad marcada en las variables analizadas. La precipitación total presentó valores comprendidos entre 136.29 mm y 314.04 mm, con picos notables en los años 1973, 2011 y 2012, correspondientes a periodos húmedos, mientras que los menores valores se registraron en los meses de estiaje. La temperatura media anual varió entre 18.9 °C y 21.1 °C, con una media general de 19.7 °C, evidenciando estabilidad térmica en la cuenca. Los valores de escorrentía superficial fluctuaron entre 136.29 mm y 314.04 mm, y el excedente hídrico alcanzó hasta 586.12 mm en los años de mayor precipitación. El caudal medio anual simulado presentó un rango de 70.24 m³/s a 150.51 m³/s, en correspondencia con la distribución de las lluvias. En algunos años se registraron valores de 0.00 mm o m³/s, asociados a periodos sin registro o con ausencia de escorrentía superficial efectiva. El modelo presentó un NSE de 0.72 y un PBIAS de 5.8 %, confirmando un desempeño satisfactorio y una adecuada correspondencia entre los valores observados y simulados.

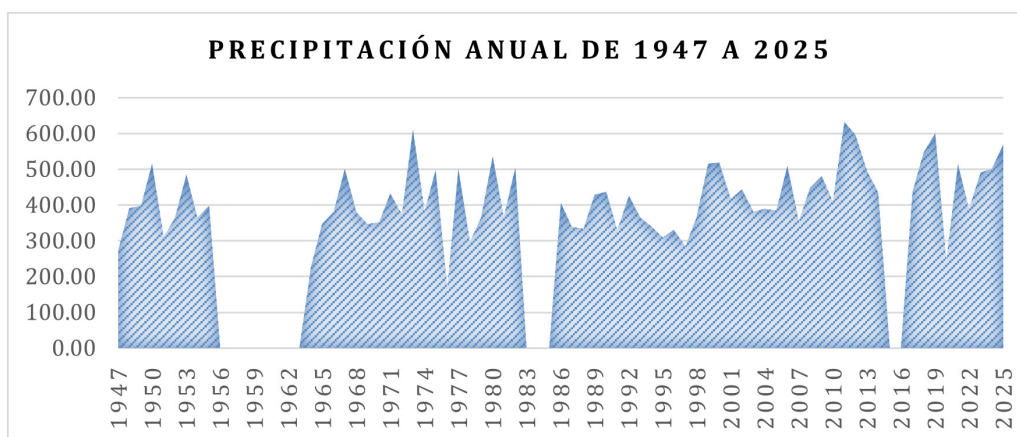


Figura 1. Variación anual de la precipitación total en la cuenca del río Huallaga (1947–2025).

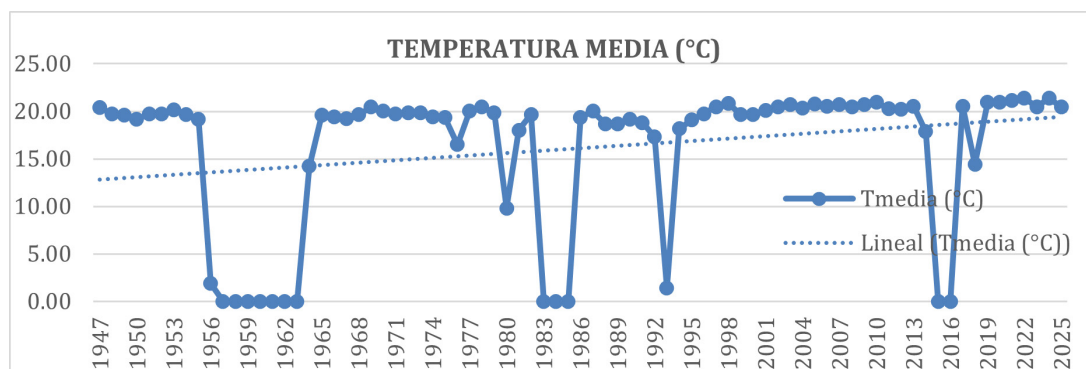


Figura 2. Variación anual de la temperatura media en la cuenca del río Huallaga (1947–2025).

Nota: Los valores representan la relación entre la figura 1 y la figura 2 que son precipitación total y la temperatura media anual en la cuenca del río Huallaga. Se aprecia que los años con mayor precipitación presentan temperaturas más estables, mientras que los años secos tienden a registrar incrementos térmicos. Los valores cero (0) reflejan ausencia de datos en los registros históricos y no implican que la temperatura haya sido nula; se trata de vacíos en la base de datos que fueron conservados para evidenciar las limitaciones de la información disponible.

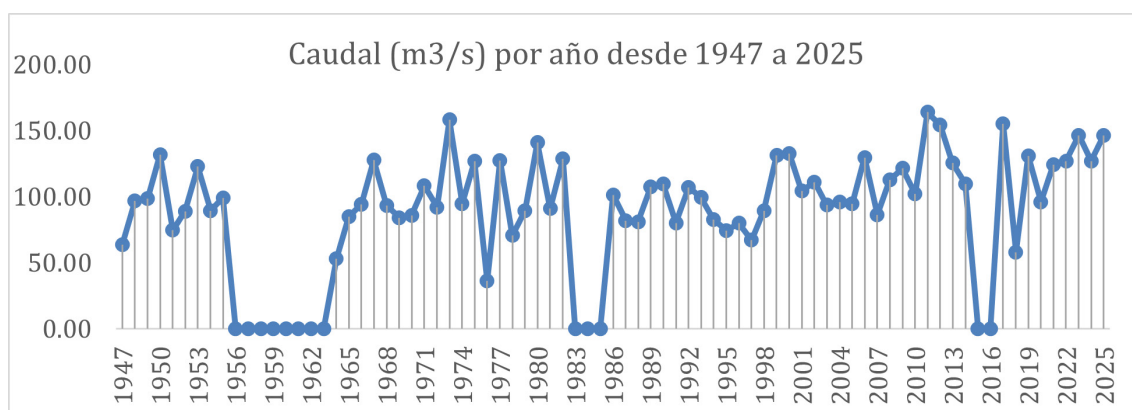


Figura 3. Variación del caudal medio anual del río Huallaga (1947–2025).

Nota: Los valores muestran la fluctuación del caudal medio anual a lo largo del periodo analizado. Se evidencian picos de caudal en años de mayor precipitación y descensos durante periodos secos, lo que refleja la respuesta hidrológica natural de la cuenca. Los valores cero (0) corresponden a años sin registros hidrométricos confiables o a interrupciones en la serie de datos, no a ausencia real de caudal en el río. Estos vacíos se mantuvieron para garantizar la transparencia metodológica del estudio.

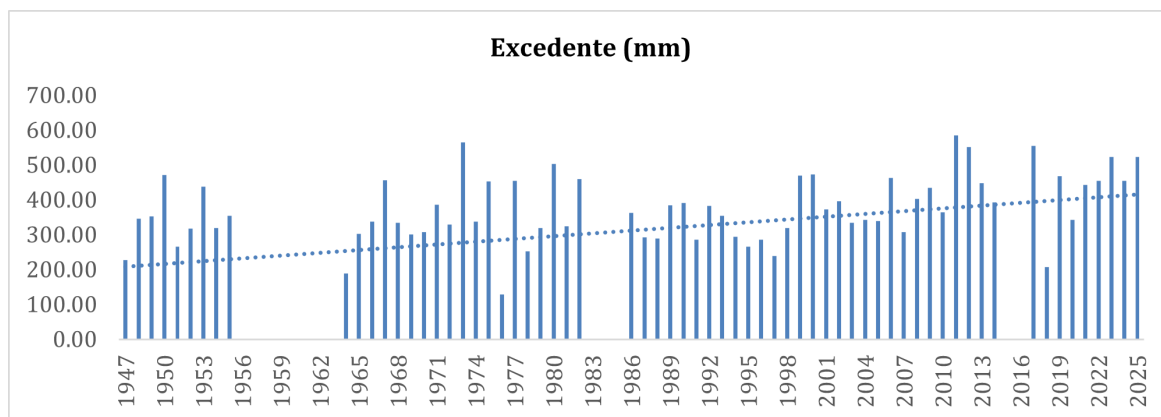


Figura 4. Variación del excedente hídrico anual del río Huallaga (1947–2025)

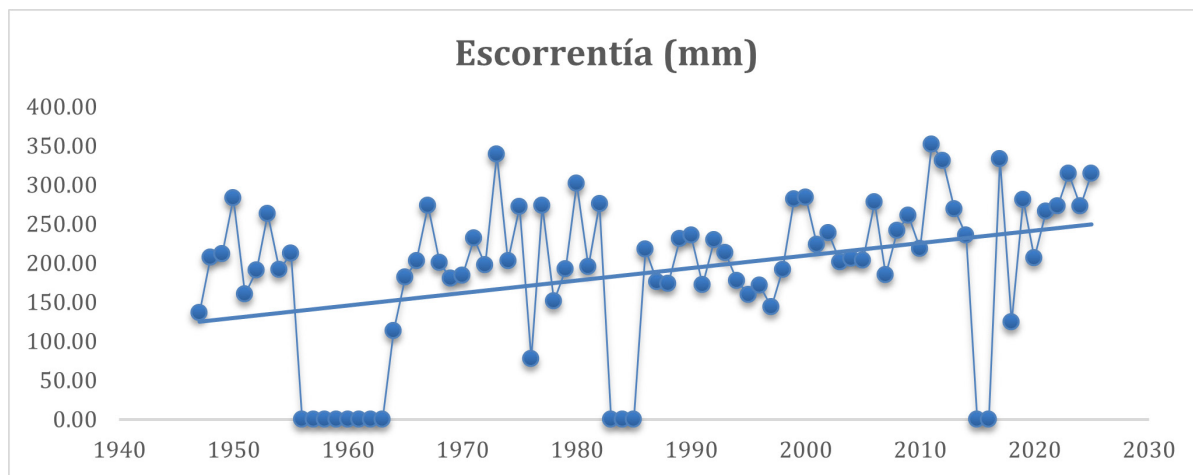


Figura 5. Variación de la escorrentía superficial anual del río Huallaga (1947–2025).

Nota: Los valores de la figura 4 y figura 5 ilustran la relación directa entre la escorrentía superficial y el excedente hídrico. Ambas variables aumentan en los años húmedos y disminuyen en los secos, mostrando la influencia climática sobre la disponibilidad de agua en la cuenca del río Huallaga. Los valores cero (0) corresponden a periodos sin datos registrados en las estaciones hidrometeorológicas, no a ausencia real de escorrentía. Se mantuvieron en la serie para reflejar la integridad del conjunto de datos.

Tabla 1. Ubicación geográfica y temperatura media de los puntos de observación en la cuenca del río Huallaga.

LOCALIZACIÓN	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	AÑOS	TEMPERATURA MEDIA
Tingo María (zona alta)	-9.287500	-76.005000	1947	20.38
Valle del Monzón – río medio alto	-9.350000	-75.975000	1973	19.86
Entre Tingo María y Huánuco (valle intermedio)	-9.600000	-76.120000	1986	19.36
Ciudad de Huánuco (puente central)	-9.929460	-76.239710	1999	19.64
Amarilis – Pillco Marca (río abajo de Huánuco)	-9.915000	-76.220000	2012	20.19
Transición sierra–selva (salida de Huánuco hacia Tingo María)	-9.300000	-76.050000	2025	20.49

Nota: La tabla muestra la ubicación geográfica y la temperatura media de las principales zonas representativas de la cuenca del río Huallaga. Se observa una disminución progresiva de la temperatura con la altitud, lo que evidencia el gradiente térmico típico de las regiones andino-amazónicas.

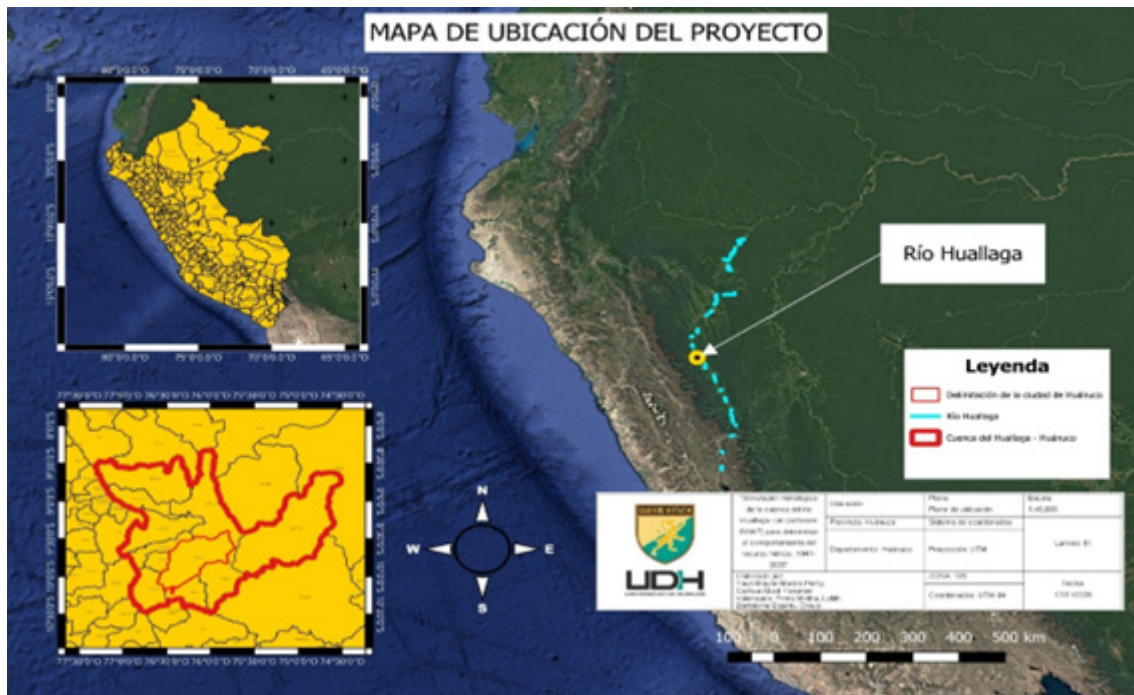


Figura 6. Mapa de ubicación.

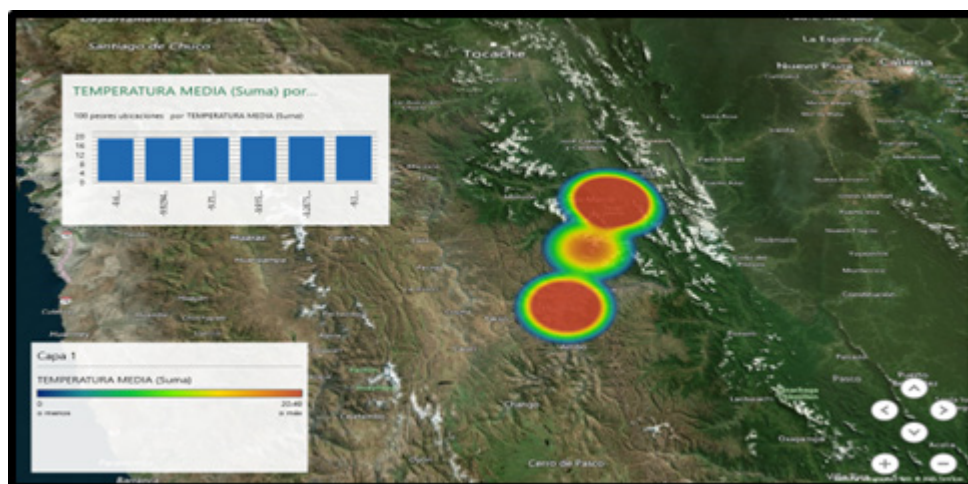


Figura 7. Distribución espacial de la temperatura media en la cuenca del río Huallaga (puntos de calor) desde (1947–2025).

Nota: El mapa de puntos de calor muestra cómo varía la temperatura en la cuenca del río Huallaga: las zonas bajas como Tingo María y Monzón presentan temperaturas más altas (23–25 °C), mientras que en áreas altas como Huánuco y Amarilis las temperaturas son menores (19–21 °C), evidenciando el gradiente térmico altitudinal típico de la selva alta peruana.

Durante la revisión de la base de datos hidrometeorológica se identificaron registros con valores iguales a cero en algunas estaciones. Estos valores no correspondían a condiciones reales del sistema hidrológico, sino a vacíos de información asociados a fallas en los equipos de medición o interrupciones en la transmisión de datos. Para evitar sesgos en la simulación, dichos valores fueron tratados mediante un proceso de depuración

estadística: primero se verificó su consistencia temporal y luego fueron reemplazados mediante interpolación lineal y promedios móviles, según el caso. Este procedimiento permitió reconstruir series continuas y evitar discontinuidades que afectarían la calibración y desempeño del modelo SWAT, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la simulación hidrológica de la cuenca del río Huallaga durante el periodo 1947–2025 muestran una marcada variabilidad interanual en las variables hidrometeorológicas, especialmente en la precipitación y el caudal medio anual, los cuales mantienen una relación directa ($r \approx 0.74$). Este comportamiento evidencia la dependencia del régimen hídrico respecto a las condiciones climáticas y coincide parcialmente con la intensificación del ciclo hidrológico descrita por Huang y Swain (2022), quienes determinaron que el cambio climático mediante ELM, KNEA, MARS, SVM y SWAD incrementa la frecuencia de lluvias intensas y prolonga los periodos de sequía. En el caso del Huallaga, se observa un patrón de alternancia entre años húmedos y secos, sin una tendencia creciente de extremos, lo que refleja una respuesta hidrológica condicionada por la variabilidad climática, aunque con menor severidad debido a la regulación natural de la cuenca. De manera complementaria, Buytaert y De Bièvre (2012) señalan que los ecosistemas andinos presentan amortiguación hidrológica por su heterogeneidad ecológica, lo cual coincide con la estabilidad relativa observada en este estudio.

Por otra parte, los resultados de la simulación con el modelo SWAT presentan un desempeño igual al reportado por Neciosup (2024) en la cuenca del río Pachitea, donde se obtuvo un ajuste satisfactorio con indicadores de eficiencia estadística ($NSE = 0.72$ y $PBIAS \approx 5.8\%$). De manera análoga, el presente estudio logra reproducir con precisión la dinámica hidrológica del Huallaga, mostrando correlaciones positivas entre las variables climáticas y los flujos superficiales. Ambos trabajos coinciden en que la precipitación es el factor dominante en la generación del caudal y que la cobertura vegetal juega un papel clave en la regulación del balance hídrico. Estos resultados dialogan con lo descrito por Hidalgo et al. (2019), quienes demostraron que los cambios en la cobertura vegetal modifican de manera directa el balance hídrico en ecosistemas de montaña. Asimismo, Martínez-Retureta et al. (2020) concluyeron que la variación del uso del suelo altera significativamente la respuesta hidrológica, lo cual respalda la importancia de conservar zonas de recarga para mantener la estabilidad hídrica observada en el Huallaga.

Sin embargo, los hallazgos del presente estudio difieren de los obtenidos por Paiva et al. (2023) en la cuenca amazónica de Madre de Dios, donde la deforestación produjo un aumento del 38 % en la escorrentía superficial y del 12 % en el caudal mensual, acompañado de una reducción del 1 % en la evapotranspiración anual. En la cuenca del Huallaga, pese a existir procesos de cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura forestal, los valores de escorrentía se mantienen dentro de un rango estable (entre 136 y 314 mm), sin evidenciar

incrementos sostenidos ni desequilibrios severos en el balance hídrico. Esta diferencia se debe a que el Huallaga aún conserva extensas áreas de vegetación natural en zonas de recarga hídrica, lo que permite una mayor capacidad de regulación y resiliencia frente a las alteraciones climáticas y antrópicas. Mientras que la cuenca de Madre de Dios refleja un impacto directo y acelerado de la deforestación sobre la dinámica hidrológica, el Huallaga mantiene un equilibrio relativo gracias a sus condiciones ecológicas y topográficas.

En síntesis, los resultados de este trabajo guardan similitud con las proyecciones globales de intensificación hidrológica descritas por Huang y Swain (2022), son iguales en desempeño metodológico y resultados de ajuste con Neciosup (2024), y difieren en magnitud del impacto antrópico frente al estudio de Paiva et al. (2023). Estas comparaciones confirman que el modelo SWAT reproduce adecuadamente el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Huallaga y que su estabilidad hídrica responde a una combinación de factores climáticos y ecológicos como los descritos por Buytaert y De Bièvre (2012), Hidalgo et al. (2019) y Martínez-Retureta et al. (2020) que le otorgan resiliencia frente a la variabilidad y el cambio climático.

CONCLUSIONES

La simulación hidrológica realizada con el modelo SWAT reprodujo adecuadamente la dinámica hídrica de la cuenca del río Huallaga durante el periodo 1947–2025, alcanzando un desempeño satisfactorio ($NSE = 0.72$; $PBIAS = 5.8\%$). Los resultados confirmaron que la precipitación constituye el principal determinante de la escorrentía y el caudal, lo que evidencia la alta sensibilidad del sistema hidrológico frente a la variabilidad climática interanual. Asimismo, se identificó que las zonas con mayor cobertura vegetal presentan una mayor capacidad de regulación hídrica, lo cual contribuye a estabilizar los flujos superficiales y mitigar la ocurrencia de extremos hidrológicos. Este comportamiento resalta la importancia de conservar áreas de recarga y mantener coberturas naturales en sectores críticos de la cuenca. Desde una perspectiva aplicada, los resultados constituyen insumos técnicos relevantes para la gestión integrada del recurso hídrico, ya que permiten identificar zonas vulnerables a déficits o excedentes hídricos, orientar la planificación de infraestructura hidráulica, optimizar proyectos de riego y fortalecer estrategias de adaptación frente al cambio climático. Además, la metodología empleada es replicable en otras cuencas andino–amazónicas, facilitando el diseño de escenarios hidrológicos futuros y la toma de decisiones informada por parte de entidades responsables del manejo del agua.

Agradecimiento

Agradecemos y extendemos nuestro reconocimiento a Yansmer Carhua abad por su importante colaboración en el presente artículo.

REFERENCIAS

- Addis, H. K., Strohmeier, S., Ziadat, F., Melaku, N. D., & Klik, A. (2016). Modeling streamflow and sediment using SWAT in Ethiopian Highlands. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(5), 50–66. <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/2483>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). FAO. <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
- Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., & Neitsch, S. L. (2012). *Soil and Water Assessment Tool: Input/output documentation version 2012*. Texas Water Resources Institute. <https://swat.tamu.edu/media/69296/swat-io-documentation-2012.pdf>
- Asurza-Véliz, R., & Lavado-Casimiro, W. (2020). Regional parameter estimation of the SWAT model: Methodology and application to river basins in the Peruvian Pacific drainage. *Water*, 12(11), 3198. <https://doi.org/10.3390/w12113198>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (s. f.). *Conceptos y metodología para estudios hidrológicos*. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/estudio_hidrologico_mala_0_0.pdf
- Buytaert, W., & De Bièvre, B. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, 48(8), W08503. <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>
- Carrillo, J. (2018). Estimación de la producción hídrica para la cuenca del río Tona mediante el modelo hidrológico semidistribuido SWAT. *Revista Internacional de Ecología*, 20(2), 45–56.
- Chahuara, K. Q., Quispe, C. H., Fernández, H., & Laura, E. L. (2022). Water availability in the Ilave Basin, Puno, Peru: SWAT hydrological model. En A. Paucar-Caceres & A. Ortiz-Araya (Eds.), *Sustainable development and social responsibility—Volume 3* (pp. 485–495). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09070-7_39
- Cubas Villegas, R. I., & Ocaña Vásquez, J. F. (2023). *Determinación hidrológica y modelamiento hidráulico del río Huallaga tramo puente San Sebastián—puente Calicanto—Huánuco, con fines de protección* [Tesis de ingeniería, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/119248>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Guo, J., Su, X., Singh, V. P., & Jin, J. (2016). Impacts of climate and land use/cover change on stream-flow using SWAT. *Water*, 8(5), 192. <https://doi.org/10.3390/w8050192>
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96–99. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Hidalgo, J., Crespo, P., Laraque, A., & Buytaert, W. (2019). Impact of land use change on water balance. *Science of the Total Environment*, 693, 133636. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.245>
- Huang, S., & Swain, D. (2022). Climate change impacts on the hydrological cycle. *Journal of Hydrology*, 610, 127989. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127989>
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Martínez-Retureta, R., et al. (2020). Effect of land use/cover change. *Water*, 12(1), 302. <https://doi.org/10.3390/w12010302>
- Moreno, E. (2022). Respuesta hidrológica con cambio climático. *Revista Internacional de Ecología*, 18(2), 33–44.
- Moriasi, D. N., et al. (2007). Model evaluation guidelines. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Neitsch, S. L., et al. (2011). *SWAT theoretical documentation*. Texas Water Resources Institute. <https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>
- Paiva, R. J., et al. (2023). Hydrological response assessment. *Remote Sensing*, 15(24), 5774. <https://doi.org/10.3390/rs15245774>
- Parra, D. (2023). Hydrological modeling. *Ecological Modelling*, 482, 110345. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438002300073X>
- Rodríguez-Iturbe, I., & Rinaldo, A. (2001). *Fractal river basins*. Cambridge University Press. https://books.google.com.pe/books/about/Fractal_River_Basins.html?id=_xjhtl7zeB8C&redir_esc=y
- Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Sun, J., et al. (2022). Climate change runoff. *Water*, 14(11), 1778. <https://doi.org/10.3390/w14111778>
- Vuille, M., et al. (2018). Rapid decline of snow and ice. *Climatic Change*, 147(1), 1–17. https://www.researchgate.net/publication/320876786_Rapid_decline_of_snow_and_ice_in_the_tropical_Andes-Impacts_uncertainties_and_challenges_ahead

Correspondencia:

Yasser Vásquez Baca

correo: yasser.vasquez@udh.edu.pe ✉

Marino Percy Yauri Maylle

correo: 2016111328@udh.edu.pe ✉

Draysi Bartolomé Espíritu

correo: 2018111807@udh.edu.pe ✉

Mirtha Judith Valenzuela Primo

correo: 2018111801@udh.edu.pe ✉

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en la realización y publicación del presente estudio.

Contribución de los autores:

YVB (autor principal): Conceptualización del estudio, diseño metodológico, supervisión científica del modelamiento hidrológico, revisión del análisis estadístico, interpretación de resultados y revisión crítica del manuscrito.

YMMP (coautor): Recopilación y procesamiento de datos hidrometeorológicos, elaboración de la base de datos, ejecución del modelo SWAT en ArcGIS, generación de resultados preliminares y apoyo en la redacción del manuscrito.

BED (coautor): Análisis e interpretación de los resultados hidrológicos, elaboración de tablas y figuras, revisión técnica del contenido científico y apoyo en la discusión del estudio.

VPMJ (coautora): Apoyo en la estructuración del artículo, revisión de coherencia académica, corrección de estilo y revisión final del manuscrito.

Fuente de Financiamiento:

La investigación fue financiada de manera autónoma por los autores, sin apoyo de entidades públicas ni privadas.