






Modelo de estimación hídrica para el sector agrícola y poblacional de la cuenca Tablachaca en Perú

Water estimation model for the agricultural and population sectors of the Tablachaca watershed in Peru

 Diego Santivañez-Seguil^I,  Rodrigo Chavarry-Victoriano^{II},  Maiquel López-Silva^{III},
 Dayma Carmenates-Hernández^{III*} and  Oscar Brown-Manrique^{IV}

^IUniversidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú.

^{II}Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

^{III}Universidad Católica Sedes Sapientiae, Facultad de Ingeniería, Departamento de Investigación, Los Olivos, Lima, Perú.

^{IV}Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba.

*Autor para correspondencia: Dayma Carmenates Hernández, e-mail: dcarmenates@ucss.edu.pe

RESUMEN: El cambio climático y las modificaciones inducida por el hombre en los recursos hídricos afectan de forma negativa la disponibilidad de los volúmenes de agua para el sector agrícola y poblacional. Por tanto, comprender las alteraciones hidrológicas es crucial para la estimación hídrica en las cuencas hidrográficas. En este estudio se analizó la estimación hídrica en la cuenca del río Tablachaca para el sector agrícola y poblacional. El modelo de estimación hídrica se desarrolló en Soil and Water Assessment Tool (SWAT) donde se aplicó el análisis de sensibilidad al modelo, así como el grado de precisión mediante el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), sesgo porcentual (PBIAS) y el coeficiente de determinación (R^2). Los principales resultados alcanzados fueron la disponibilidad hídrica de la cuenca de 40.67 m³/s y 23.29 m³/s para el uso agrícola y consumo humano con una probabilidad del 75% y 95% respectivamente. La calibración del modelo alcanzó un NSE de 0.79; PBIAS de -5.69% y R^2 de 0.80 y una validación con NSE de 0.75; PBIAS de -19.22% y R^2 de 0.82, en efecto permitió obtener un modelo de estimación hídrica con un rendimiento eficaz.

Palabras clave: accesibilidad al agua, cuenca hidrográfica, disponibilidad hídrica, recursos hídricos, modelación hidrológica.

ABSTRACT: Climate change and human-induced modifications to water resources negatively affect the natural flow regimes of the river. Therefore, understanding hydrological alterations is crucial for water estimation in watersheds. This study analyzed water estimation in the Tablachaca River watershed for the agricultural and population sectors. The water estimation model was developed in Soil and Water Assessment Tool (SWAT), in which the sensitivity analysis was applied to the model, as well as the degree of precision through the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE), percentage bias (PBIAS) and the coefficient of determination (R^2). The main results were the water availability of the basin was 40.67 m³/s and 23.29 m³/s for agricultural use and human consumption with a probability of 75 % and 95 %, respectively. Model calibration reached an NSE of 0.79; PBIAS of -5.69 % and R^2 of 0.80 and a validation with NSE of 0.75; PBIAS of -19.22 % and R^2 of 0.82, which in effect made it possible to obtain a water estimation model with effective performance.

Keywords: Water Accessibility, Hydrographic Basin, Water Availability, Water Resources, Hydrological Modelling.

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de los recursos hídricos representa un aspecto básico para el desarrollo sostenible de las cuencas hidrográficas (Rosen *et al.*, 2023). Estudios realizados por Cai *et al.* (2023) manifiestan que los problemas como la urbanización amenazan la supervivencia humana y el desarrollo socioeconómico, además, la combinación de los fenómenos meteorológicos y la socioeconomía se han convertido en un problema complejo para la gestión de los recursos. Por lo tanto, es necesario la evaluación óptima de los procesos hidrológicos para cuantificar y mejorar la distribución del agua para los diferentes sectores de la sociedad y a su vez contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos.

La cuenca del río Tablachaca en el norte del Perú presenta serios problemas para establecer un uso eficiente de los recursos hídricos. Como causas principales está la ubicación geográfica sobre los Andes del Perú, que induce análisis de la variabilidad espacio- temporal debido a la zona montaña, el clima, variabilidad de precipitaciones y los diferentes usos del agua como abastecimiento de agua potable, hidroelectricidad, minería y agricultura. En segundo lugar, los elevados caudales sólidos específicos producto a la erosión hídrica que afecta la fertilidad de los suelos, disponibilidad de agua para los cultivos y por consiguiente pérdidas del volumen útil de almacenamiento de agua en los embalses, así como una producción sostenible de la energía eléctrica (Velásquez-Castro *et al.*, 2019).

Recibido: 01/07/2024

Aceptado: 10/02/2025

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTORES. Conceptualización: D. Santivañez. Curación de datos: D. Santivañez, R. Chavarry. Investigación: M. López, D. Santivañez, R. Chavarry. Metodología: M. López, D. Carmenates. Supervisión: M. López, D. Carmenates. Validación: M. López, O. Brown. Papeles/Redacción, borrador original: D. Carmenates, M. López. Redacción, revisión y edición: D. Carmenates, M. López, O. Brown



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En tercer lugar, la escasa información de datos hidrológicos completos y actualizados. Históricamente, la información de caudales se limitaba hasta el año 1997, dejando un vacío de conocimiento sobre la dinámica fluvial en las décadas subsiguientes.

El modelo de estimación hídrica semidistribuido denominado Evaluación de Suelos y Agua (SWAT) es uno de los más utilizados por los profesionales de los recursos hídricos. Producto a su naturaleza interdisciplinaria, el modelo SWAT es reconocido por ser una herramienta robusta que contribuye a la gestión hídrica y de forma particular en la simulación de la gestión agrícola (Chen *et al.*, 2024).

Rosen *et al.* (2023) logran observar en las 11 subcuencas una sequía prolongada durante 3 años debido a la falta de monzón del noreste. Shin *et al.* (2021) logran mediante el uso del SWAT los caudales mensuales a largo plazo de forma precisa y reflejan los procesos hidrológicos internos de la cuenca. Caso similar alcanzan Pandi *et al.* (2023) en la India, permitiendo una gestión sostenible del agua a partir de los datos de la cuenca, lluvia y condiciones del suelo. Jiang *et al.* (2024) enfatizan que, en las zonas montañosas debe tenerse elevada precisión de la lluvia para mejorar la evaluación del modelo SWAT porque alcanzaron resultados subestimados en la escorrentía mensual con un sesgo porcentual de 5% al 19%.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en la cuenca hidrográfica del río Tablachaca situada en la vertiente occidental de los Andes en el Perú. La cuenca incluye dos ríos secundarios, el río Angasmarca y el Huaychaca que vierten sus afluentes en el río principal Tablachaca.

Se utilizó la información espacial, climática e hidrométrica para el correcto modelamiento en el programa SWAT. Para la información espacial, se realizó el análisis del uso del suelo mediante el Mapa de Ecosistemas del Perú proporcionado por el Ministerio del Ambiente obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>. Se establecieron equivalencias entre los tipos de ecosistemas y los usos de suelo generales que pueden ser interpretados por SWAT.

La información sobre el tipo de suelo se obtuvo del Mapa Digital Mundial de Suelo (DSMW) de link <https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search#/metadata/cc45a270-88fd-11da-a88f-000d939bc5d8> que sigue la nomenclatura de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Consecuentemente, se trabajó con las pendientes del terreno en el formato ESRI para su manipulación, sus respectivos rangos fueron generados en la herramienta ArcGis Pro 2.0.

En cuanto a la información climática, se consideró cinco estaciones pluviométricas las cuales fueron Cabana, Cachicadán, Huacamarcanga, Mollepata, Quiruvilca ubicadas entre los 2726 y 4123 m.s.n.m. Los datos fueron tomados de la plataforma de la Autoridad Nacional del Agua <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/> y del

Servio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=estaciones>. Los datos obtenidos pertenecieron a los años comprendidos desde 1972 hasta 2023, pero fue necesario el análisis de completamiento mediante el HEC 4 (Bhaskar & Whitlatch, 1980) y análisis de consistencia de la lluvia por medio del TREND (Chiew & Siriwardena, 2005). Finalmente, para la información hidrométrica se consideró la estación Chuquicara, teniendo data histórica disponible de 24 años comprendidos desde el año 1972 hasta el 1997.

Modelo Hidrológico SWAT

La estimación hídrica para el consumo humano y agrícola se analizó mediante el modelo SWAT con base al método SCS-CN para predecir el escurrimiento a partir de la lluvia caída y grado de saturación del suelo. En tal sentido, se eligió un percentil del 95% como estándar para el agua de consumo humano, asegurando que solo el 5% de los datos excedan el caudal mínimo garantizado. Para fines de riego se usó un percentil del 75% considerando que los cultivos toleran cierto nivel de estrés hídrico por escasa disponibilidad de agua para el riego.

Calibración y Validación del modelo

En la modelización, las incertidumbres emergen de cuatro fuentes principales: errores en datos de entrada, imprecisiones en datos observados, variabilidad en parámetros e incertidumbre estructural. La calibración requirió una función objetivo clara, como la eficiencia de Nash-Sutcliffe en SWAT, para evaluar la adecuación del modelo. La validación contrastó las simulaciones con observaciones, utilizando criterios estadísticos para verificar la precisión SWAT-CUP que facilitó ambos procesos.

Índices de desempeño del modelo

Se han planteado tres índices para la evaluación del desempeño de modelos predictivos, el coeficiente de Nash - Shutcliffe (NSE), el Porcentaje del Sesgo (PBIAS) y el Coeficiente de determinación (R^2). En este aspecto, se evaluó la precisión de las predicciones del modelo en comparación con la media de los datos observados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante el uso del sistema de información geográfica con el ArcGIS Pro, la cuenca presentó un área total de 3198.90 km² delimitada por un perímetro de 410.46 km. La variación altitudinal de la cuenca varía considerablemente, presentando una elevación máxima de 5050 m.s.n.m. y una mínima de 505 m.s.n.m. Aspecto que señala una notable variación topográfica y potencialmente una diversidad de condiciones hidrológicas y geotécnicas a lo largo de la cuenca.

En la cuenca se identificó 5 estaciones pluviométricas que registraron la lluvia desde el año 1972 hasta el 2023.

En la [Tabla 1](#) se muestra las estaciones meteorológicas analizadas e intervalos de las precipitaciones. En particular la estación Huacamaranga registró las mayores precipitaciones en relación con la estación Mollepata que alcanzó las mínimas con valores de 93.40 mm y 41.10 mm respectivamente.

Así mismo se analizaron los tres ríos principales de la cuenca Tablachaca. El río Angasmarca con una longitud de 18.82 km y un área de aporte de 354.52 km² que contribuye con el 11.08% del flujo total de la cuenca. El río Huaychaca extendiéndose 26.32 km de longitud y tributa en un área de 731.92 km² que aporta el 22.88% del caudal de la cuenca. Finalmente, el río Tablachaca representa el 66.04% del aporte hídrico total de la cuenca con una longitud de 103.6 km y tributa en un área de 2112.46 km².

Análisis de Sensibilidad

En el análisis de sensibilidad se identificaron 16 parámetros más sensibles para la optimización. Pero, debido a las similitudes en el comportamiento hidrológico el CN2, SOL, SFTMP muestran la sensibilidad relativa más alta, lo que sugiere que la escorrentía superficial, Capacidad de agua disponible en el suelo y las temperaturas son de importancia significativa para la producción de caudal en el río. En relación al parámetro ESCO, el valor cercano a uno de indica que existe una alta compensación de evaporación en el suelo por las condiciones climáticas y ambientales de las zonas montañosas.

Calibración y Validación

La calibración automática consistió en funciones objetivas definidas por [Das et al. \(2024\)](#). Señalar que, en el proceso de la calibración se consideró los 2/3 del período de datos observados de caudales y para la validación se utilizó el 1/3 restante. Teniendo en cuenta los índices de desempeño, se simuló la lluvia completa para el período de 1972 hasta 2023.

Luego de calibrar el modelo para el período de 1973 a 1988, se obtuvieron valores de NSE de 0.79 y PBIAS de -5.69%, lo cual indica un buen rendimiento del modelo y buenas correlaciones de R² con valores superiores a 0.80. En el caso de la validación correspondiente al período de 1989 a 1996, se obtuvo un NSE de 0.75 y un R² de 0.82 aunque el PBIAS mostró un mayor cambio, con un error de -19.22. Sin embargo, estos valores aún se encuentran dentro de los rangos de buen desempeño siendo el proceso calibrado más óptimo que el validado. Los resultados obtenidos del desempeño del modelo SWAT se reflejan en la [Tabla 2](#). Se observa que, el periodo de calibración el caudal simulado aumento el 5.9% en relación al observado, mientras que, en la validación aumento el 23.8%. Por tanto, existe una tendencia de mayor incertidumbre en los caudales simulado para el periodo de validación de 1989 al año 1996.

En relación a la calibración del modelo SWAT, [Marahatta et al. \(2021\)](#) logran favorables resultados como NSE de 0.78, PBIAS de -1.46%, mientras que, en su proceso de validación valores de 0.81 y -17.1 de índices de NSE y PBIAS respectivamente, que en comparación a la presente investigación presentó valores similares. Conforme con [Colín-García et al. \(2023\)](#); [Xiang et al. \(2022\)](#) los valores de NSE y PBIAS pueden alterarse en dependencia de las condiciones de la cuenca hidrográfica y en particular el tipo de suelo.

La [Figura 1](#) muestra el modelo calibrado y validado, donde se observa de forma ajustada la curva del caudal simulado sobre la curva del caudal observado. Ha excepción del año 1975 la existencia de una subestimación del caudal simulado y por el contrario en el año 1984 una sobre predicción.

Sin embargo, la validación del modelo las curvas del caudal simulado y observado se ajustan eficientemente para el periodo de 1989 al 1997. Posterior a la validación se logró extender en el modelo SWAT la serie histórica de caudales hasta el año 2023. El promedio de los caudales mensuales en cada río analizado permitió diferenciar los periodos secos y

TABLA 1. Altitud y precipitaciones registradas en las estaciones climáticas

Nº	Estación	Altitud	Máxima	Minima	Promedio
1	Cabana	3300	62.16	0.10	2.39
2	Cachicadan	2892	62.60	0.10	2.66
3	Huacamaranga	4123	93.40	0.00	2.54
4	Mollepata	2726	41.10	0.10	1.61
5	Quiruvilca	3950	53.50	0.10	3.83

TABLA 2. Índices de desempeño

Indicadores	Calibración (1973-1988)		Validación (1989 - 1996)	
Q observado	29.18	m ³ /s	27.18	m ³ /s
Q simulado	30.93	m ³ /s	33.65	m ³ /s
NASH	0.79	-	0.75	-
PBIAS	-5.69	%	-19.22	%
R ²	0.80	-	0.82	-

húmedos. Al respecto, se identificó la disponibilidad hídrica para fines de consumo humano y de uso agrícola, **Figura 2**. Se observa que, en el río Angasmarca los caudales medios mensuales oscilan de 0.34 m³/s a 12.39 m³/s para una media anual de 3.8 m³/s.

El periodo húmedo se estableció entre los meses de diciembre hasta abril, destacando marzo como el mes de mayor registro de precipitaciones en la zona. Por otro lado, el periodo seco ocurre en el mes de mayo a noviembre. Esta variabilidad en los caudales refleja la disponibilidad hídrica. Por lo tanto, la disponibilidad hídrica para la población y el riego en las zonas agrícolas en las épocas secas y húmedas, el río satisface las necesidades para el 95% y 75% de probabilidades respectivamente. Por otra parte, en los caudales mensuales del río Huaychaca. Se observa una tendencia hidrológica superior en comparación al río Angasmarca. El análisis de los caudales indica promedios mensuales que oscilan de 1.87 m³/s a 34.51 m³/s. Asimismo, se visualiza una tendencia a la disminución de los caudales que representa la época seca entre el mes de mayo a noviembre y época húmeda de diciembre a abril, lo cual están en correspondencia con la subcuenca del río Angasmarca. Sin embargo, la zona del río Huaychaca presentó superior reserva hídrica para abastecer a la población y agricultura al 95 y 75% respectivamente. Por otro lado, el mes de agosto es acentuado por las escasas precipitaciones que alcanza periodos mínimos en la subcuenca de 1.87 m³/s. Por tanto, la dotación hídrica destinada a usos agrícolas y consumo humano se reduce en 1.23 m³/s y apenas 0,25 m³/s respectivamente. Aunque la producción total es superior a comparación del río Angasmarca, la proporción destinada al consumo humano y otros usos residenciales permanece limitada durante los meses críticos. En particular, se encontró que el río Tablachaca tiene una superior disponibilidad hídrica en

relación al río Angasmarca y Huaychaca porque es el río principal de la cuenca con caudales mensuales promedio de 40.81 m³/s. Al igual que los ríos Angasmarca y Huaychaca su periodo húmedo está comprendido de diciembre hasta abril, mientras que el periodo de seco de mayo a noviembre. El mayor caudal que se registró en el mes más húmedo es de 122,7 m³/s mientras que, en el mes más seco es de 5,91 m³/s, cifras considerablemente mayores a la producción de los ríos anteriormente mencionados. Por consecuencia, la evaluación determinó que los recursos hídricos disponibles para uso agrícola y el consumo humano serán evidentemente mayores. Durante el período de mayor precipitación, el caudal destinado a la agricultura alcanza los 60,59 m³/s, mientras que el suministro para consumo humano asciende a 33,25 m³/s. Por otro lado, en la época de menor lluvia, el caudal disponible para riego disminuye a 4,36 m³/s y el correspondiente al uso potable se reduce a 2,41 m³/s. En relación **Chen et al. (2024)** como medidas de ahorro de agua para el riego, realizaron dos escenarios de simulación en el SWAT, que lograron experimentar una reducción del 6,58% en el uso neto del agua para riego.

El análisis del índice de escases teniendo en cuenta la demanda hídrica y la oferta hídrica según (**IDEAM, 2004**) donde clasifica el índice en bajo (<10%), moderado (10% a 20%), medio (20 a 40%) y alto (>40%). En base a la clasificación, se determinó el índice de escases de forma mensual en la subcuenca del río Angasmarca y presentó valores que oscilaron de 55% a 79%, mientras que la subcuenca del río Huaychaca 57% a 79% y por último la cuenca del río Tablachaca con 81% a 116%. En general, la cuenca del río Tablachaca alcanzó un índice de escases superior al 100%. Todo ello, implica que la demanda superó la oferta disponible, debiendo en estos casos, las autoridades redefinir nuevas medidas para la gestión de los recursos hídricos producto a sus limitaciones.

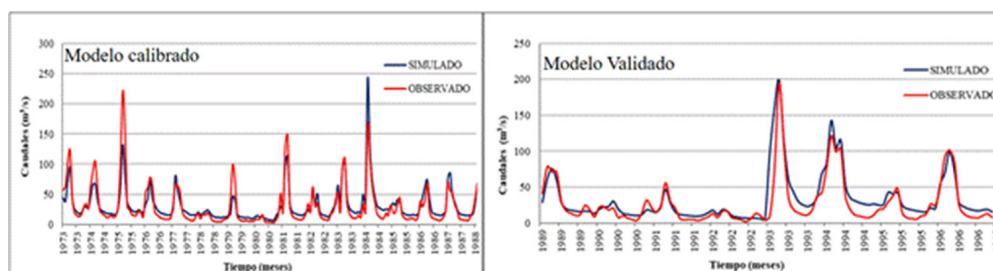


FIGURA 1. Modelo calibrado y Validado.

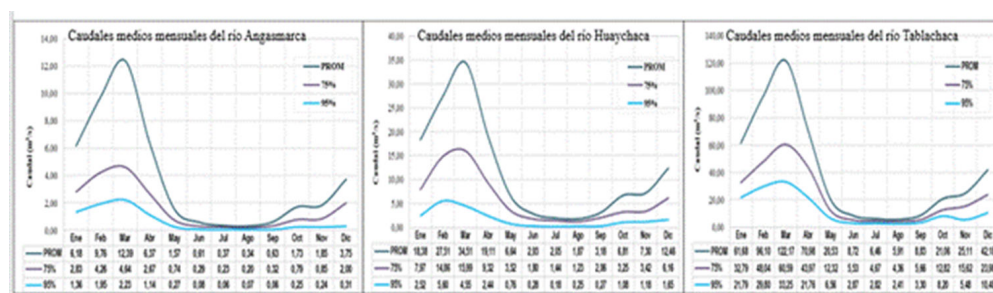


FIGURA 2. Caudales medios mensuales de los ríos Angasmarca, Huaychaca y Tablachaca.

Sin embargo, Liao (2024) plantea la necesidad que identificar los índices de escasez de agua desde la perspectiva de agua para los seres humanos, de igual modo profundizar en las variables que implicadas en la agricultura.

CONCLUSIONES

- Se aplicó satisfactoriamente el modelo hidrológico SWAT en la cuenca del río Tablachaca, integrando la distribución espacial de tipo suelo, información climática e hidrométrica. La calibración mostró un buen desempeño del modelo con un NSE de 0.79 y un PBIAS de -5.69%. Así mismo la validación confirmó su eficacia con un NSE de 0,75 y un PBIAS de -19,22%, siendo la calibración la fase más óptima.
- El análisis temporal reveló un aumento en la producción de caudales entre diciembre hasta abril que constituye el periodo húmedo, seguido de una disminución notable desde mayo hasta noviembre, correspondiente al periodo de seco.
- La disponibilidad hídrica total de la cuenca destinada al uso agrícola fue de 40,67 m³/s mientras que, para el consumo humano se dispuso de 23.29 m³/s con probabilidades del 75% y 95% respectivamente.
- El río Tablachaca presentó la mayor disponibilidad hídrica dentro de la cuenca estudiada. Para fines de uso agrícola se observó un caudal máximo de 60.59 m³/s y mínimo de 4.36 m³/s. Mientras que para el consumo humano se registró un caudal máximo de 33.25 m³/s y mínimo de 2.41 m³/s respectivamente. No obstante, los ríos Angasmarca y Huaychaca mostraron una disponibilidad limitada, especialmente en el periodo de seco con caudales aproximados a cero.
- Se identifica que el rendimiento del modelo de simulación se puede perfeccionar utilizando datos de precipitaciones satelitales porque la sensibilidad e incertidumbre de los parámetros respecto a las diferentes entradas de precipitaciones puede reflejar variación del rendimiento en relación a un conjunto de datos de múltiples fuentes.
- Como elementos fundamentales para futuras investigaciones se recomendaría interrelacionar los modelos físicos numéricos con la ciencia de la inteligencia artificial de forma armónica para estimar con mayor exactitud las reservas hídricas de la cuenca. Sugiriendo la necesidad de infraestructuras hidráulicas como embalses para asegurar el suministro de agua durante las épocas de escasez y contribuir a la regulación del ciclo hidrológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHASKAR, N. R., & WHITLATCH, E. E.: "Application of the Hec-4 Monthly Stream Flow Simulation Model". *JAWRA. Journal of the American Water Resources*

- Association*, 16(4), 587-593, 1980, DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.1980.TB02435.X>
- CAI, Y.; ZHANG, F.; SHI, J.; CARL JOHNSON, V.; AHMED, Z.; WANG, J.; & WANG, W.: "Enhancing SWAT model with modified method to improve Eco-hydrological simulation in arid region." *Journal of Cleaner Production*, 403, 136891, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136891>
- CHEN, J.; LI, Y.; LUO, W.; YU, L.; ZOU, Z.; WANG, W.; HUANG, S.; TANG, C.; YE, L.; & XIAO, X.: "Modification and testing of SWAT for paddy field water consumption and yield." *River*, 2024, DOI: <https://doi.org/10.1002/rvr.2.96>
- CHIEW, F.; & SIRIWARDENA, L.: "Trend User Guide.", 2005, Disponible en: www.toolkit.net.au/trend
- COLÍN-GARCÍA, G.; PALACIOS-VÉLEZ, E.; FERNÁNDEZ-REYNOSO, D. S.; LÓPEZ-PÉREZ, A.; FLORES-MAGDALENO, H.; ASCENCIO-HERNÁNDEZ, R.; & CANALES-ISLAS, E. I.: "Hydrological modeling with the SWAT model using different spatial distributions of soil type in the Mixteco River Basin." *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41, 2023, DOI: <https://doi.org/10.28940/TERRA.V41I0.1566>
- DAS, S. K.; AHSAN, A.; KHAN, M. H. R. B.; YILMAZ, A. G.; AHMED, S.; IMTEAZ, M.; TARIQ, M. A. U. R.; SHAFIQUZZAMAN, M.; NG, A. W. M.; & AL-ANSARI, N.: "Calibration, validation and uncertainty analysis of a SWAT water quality model." *Applied Water Science*, 14(4), 1-15, 2024, DOI: <https://doi.org/10.1007/S13201-024-02138-X/TABLES/9>
- IDEAM.: "Contenido. Informe Anual Sobre El Estado Del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables En Colombia", 2004.
- JIANG, A.; ZHANG, W.; LIU, X.; ZHOU, F.; LI, A.; PENG, H.; & WANG, H.: "Improving hydrological process simulation in mountain watersheds: Integrating WRF model gridded precipitation data into the SWAT model." *Journal of Hydrology*, 639, 2024, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131687>
- LIAO, R.: "Water scarcity assessment index from the realistic perspective of human basic water requirements." *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 100404, 2024, DOI: <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2024.100404>
- MARAHATTA, S.; DEVKOTA, L. P.; & ARYAL, D.: "Application of SWAT in Hydrological Simulation of Complex Mountainous River Basin" (Part I: Model Development). *Water* 2021, Vol. 13, Page 1546, 13(11), 1546, 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/W13111546>
- PANDI, D.; KOTHANDARAMAN, S.; & KUPPUSAMY, M.: "Simulation of Water Balance Components Using SWAT Model at Sub Catchment Level." *Sustainability (Switzerland)*, 15(2), 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15021438>
- ROSEN, M. A.; BONAKDARI, H.; SUN, P.; DONG, L.; PANDI, D.; KOTHANDARAMAN, S.; & KUPPUSAMY, M.: "Simulation of Water Balance Components Using SWAT Model at Sub Catchment

- Level." *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 1438, 15(2), 1438, 2023, DOI: <https://doi.org/10.3390/SU15021438>
- SHIN, S.; POKHREL, Y.; TALCHABHADEL, R.: & PANTHI, J.: "Spatio-temporal dynamics of hydrologic changes in the Himalayan river basins of Nepal using high-resolution hydrological-hydrodynamic modeling." *Journal of Hydrology*, 598, 126209, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126209>
- VELÁSQUEZ-CASTRO, K.; INGOL-BLANCO, E.; PEHOVAZ-ALVAREZ, R.; & CRUZADO-BLANCO, C.: "Assessment of Reservoir Sedimentation and Mitigation Measures: A Case Study of Palo Redondo Reservoir." *World Environmental and Water Resources Congress 2019: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2019*, 192-199, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784482353.018>
- XIANG, X.; AO, T.; XIAO, Q.; LI, X.; ZHOU, L.; CHEN, Y.; BI, Y.; & GUO, J.: "Parameter Sensitivity Analysis of SWAT Modeling in the Upper Heihe River Basin Using Four Typical Approaches." *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 9862, 12(19), 9862, 2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/AP12199862>

Diego Santivañez-Seguil, Bachelor in Civil Engineering, Universidad Ricardo Palma, Faculty of Engineering, Lima, Peru. e-mail: diego.santivanez@urp.edu.pe

Rodrigo Chavarry-Victoriano, Civil Engineer, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Peru. e-mail: rodrigo.chavarry@unmsm.edu.pe

Maiquel López-Silva, Ph.D., Universidad Católica Sedes Sapientiae, Faculty of Engineering, Research Department. e-mail: mlopezs@ucss.edu.pe

Dayma Carmenates-Hernández, Ph.D., Universidad Católica Sedes Sapientiae, Faculty of Engineering, Research Department. e-mail: dcarmenates@ucss.edu.pe

Oscar Brown-Manrique, Dr.C., Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Center for Hydrotechnical Studies (CEH), Ciego de Ávila, Cuba. e-mail: obrown@unica.cu

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por el autor ni por el editor