

# Revisión de literatura para el análisis del desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura

## Resumen

**Carlos Martínez Zelaya**

Escuela de post grado Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.

<https://orcid.org/0000-0002-4017-6153>  
[cmartinezz@unasam.edu.pe](mailto:cmartinezz@unasam.edu.pe)

**Fidel Aparicio Roque**

Escuela de post grado Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. Ingeniero Agrícola Ingeniero Civil Maestro en Ciencias e Ingeniería con mención en Gestión Ambiental Doctor en Ingeniería Civil Doctor en Ingeniería Ambiental.

<https://orcid.org/0000-0003-1405-7588>  
[daparicior@unasam.edu.pe](mailto:daparicior@unasam.edu.pe)

El cambio climático es un problema global que está afectando la disponibilidad de agua superficial a nivel mundial. Los eventos climáticos extremos van en aumento según predicciones futuras. Esto provoca cambios en los patrones de precipitación, intensificando sequías e inundaciones. El objetivo de la investigación fue realizar una revisión sistemática de artículos indexados desde el año 2014 al 2024, referidos al desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura. Los materiales y métodos se basaron en dos etapas bien marcadas: la búsqueda de la literatura y la revisión de la literatura. La primera etapa corresponde a la identificación de la literatura en la base de datos de Scopus, aplicando una cadena de búsqueda en artículos publicados en los últimos 10 años. Luego, se realizó un filtro aplicando 2 criterios de selección. En la segunda etapa se integró la información; se ordenó y se extrajo lo más resaltante para el análisis. La revisión y análisis evidenció un buen desempeño del modelo SWAT en la mayoría de los estudios. En la mayoría existe una tendencia a la disminución de las precipitaciones y la disponibilidad hídrica. En conclusión, el modelo SWAT tuvo un buen desempeño en la mayoría de los estudios revisados. En las proyecciones a futuro, en la mayoría existe una tendencia a la disminución de las precipitaciones y la disponibilidad hídrica.

**Palabras clave:** cambio climático, disponibilidad hídrica, SWAT, revisión sistemática

**Cómo citar este artículo:** Martínez Zelaya, C., & Aparicio Roque, F. (2024). Revisión de literatura para el análisis del desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura. *Aporte Santiaguino*, 17(2), Pág. 251–271. <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n2.1181>

**Recibido:** 2024-09-20 | **Aceptado:** 2024-11-20



# Literature review for the analysis of the performance of the SWAT model in Future Water Availability

Climate change is a global problem that is affecting the availability of surface water worldwide. Extreme weather events are increasing according to future predictions, this causes changes in precipitation patterns, intensifying droughts and floods. The objective of the research was to carry out a systematic review of articles indexed from 2014 to 2024, referring to the performance of the SWAT model in future water availability. The materials and methods were based on two well-marked stages; the literature search and literature review, the first stage corresponds to the identification of the literature in the Scopus database, applying a search string in articles published in the last 10 years, and then performing a filter applying 2 selection criteria and finally the second stage, which integrates the information by ordering it and extracting the most relevant for the analysis. The review and analysis carried out showed good performance in most of the studies that used the SWAT model in the simulations; For the most part, there is a trend toward decreased rainfall and water availability. In conclusion, the SWAT model performed well in most of the studies reviewed; In most future projections there is a trend towards a decrease in rainfall and water availability.

*Keywords:* climate change, water availability, SWAT, systemic review

## Introducción

La presencia de agua dulce en el planeta continúa siendo fundamental para la existencia de la vida humana. Sin embargo, su reducción en la calidad y cantidad, junto con su elevada susceptibilidad al cambio climático, tiene un impacto negativo, frente a las demandas crecientes (Dahal et al., 2020; Reshma & Arunkumar, 2023). La

evidencia de los datos climatológicos históricos y las previsiones de las condiciones climáticas en muchas partes del mundo, indican un cambio climático en las últimas décadas, con una tendencia ascendente de la temperatura en el futuro. Las alteraciones climáticas afectarán seriamente los recursos hídricos; las aguas superficiales, las aguas subterráneas y las construcciones relacionadas con ella sufrirán consecuencias no deseadas (Khalilian & Shahvari, 2019; Quansah et al., 2021).

A nivel mundial, el informe más reciente del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) señala que los eventos climáticos extremos están en aumento, provocando cambios drásticos en los patrones de precipitación y afectando la distribución del agua superficial. Este fenómeno no solo intensifica la frecuencia de sequías, sino que también contribuye a inundaciones devastadoras, impactando negativamente en la disponibilidad y distribución del recurso hídrico (IPCC, 2023).

En una escala más regional, América Latina no escapa a los efectos del cambio climático. Un informe de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) destaca el aumento de eventos climáticos extremos en la región, incluyendo sequías prolongadas que afectan la disponibilidad de agua superficial en cuencas críticas (CEPAL, 2023).

La problemática del impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua superficial es un desafío apremiante que afecta a nivel global, lo que conlleva a tomar acciones inmediatas y realizar proyecciones a futuro sobre el impacto que tendrá el aumento de la temperatura global en la disponibilidad hídrica futura, con el fin elaborar planes de gestión de recursos hídricos a largo plazo que permitan un aprovechamiento eficaz y sostenible del recurso hídrico a lo largo del tiempo (Iranmanesh et al., 2021; Saade et al., 2021).

Para realizar proyecciones a futuro, actualmente, existen métodos basados principalmente en modelos

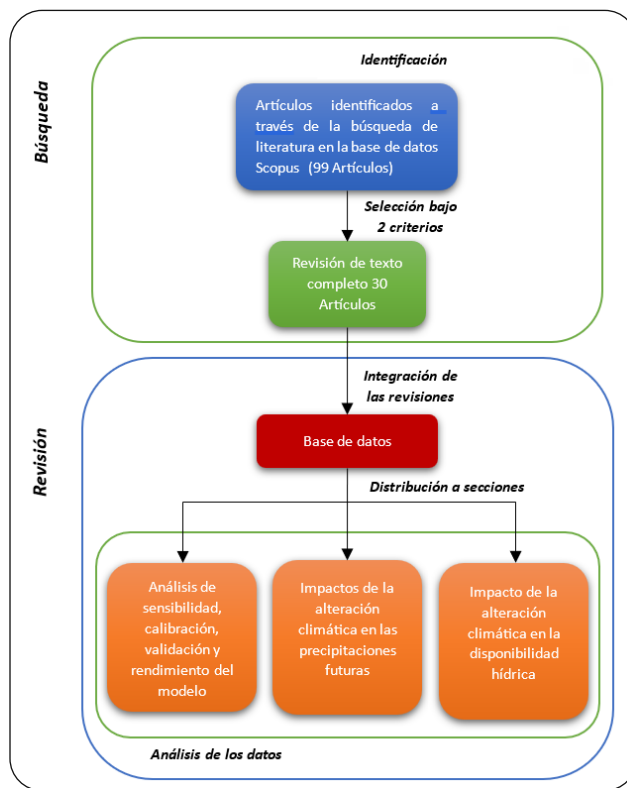
hidrológicos, que permiten evaluar la influencia del cambio climático en los recursos hídricos (Nilawar & Waikar, 2019). La modelización hidrológica en combinación con escenarios de cambio climático permite evaluar los impactos potenciales del aumento de la temperatura en los recursos hídricos (Näschen et al., 2019). El modelo SWAT (Herramienta para Evaluación de Suelos y Agua) y otros modelos hidrológicos son eficaces para representar procesos y elementos físicos relacionados con el agua, a diferencia de los modelos tradicionales que a menudo no pueden abordar los desafíos actuales de gestión del agua. (Touseef et al., 2021).

A nivel mundial, existen estudios que han empleado el modelo semidistribuido SWAT y que reflejan el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica. El objetivo de la investigación fue realizar una revisión sistemática de artículos indexados desde el año 2014 al 2024, referidos al desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura. Para lograr este objetivo se realizó lo siguiente: 1) Explorar cuál fue el desempeño del modelo SWAT en los artículos revisados; 2) Identificar cual fue el impacto del cambio climático en las precipitaciones y la disponibilidad.

## Materiales y métodos

Para la revisión sistemática de la literatura, se establecieron 2 etapas principales: la primera correspondió a la búsqueda de la información y la segunda, a la revisión de los artículos encontrados, como se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

**Figura 1**  
Flujograma de la metodología



*Nota.* Adaptado de *Modeling Water Regulation Ecosystem Services: A review in the context of ecosystem accounting* (Nedkov et al., 2022).

### Búsqueda de literatura

En esta etapa, se realizó una revisión sistemática de publicaciones disponibles con información relevante y de calidad (Siddaway et al., 2019). La búsqueda de la información incluyó únicamente artículos publicados desde el año 2014 a 2024 en la base de datos Scopus.

Primero se identificaron todos los términos o palabras clave relacionados al tema de modelamiento de la disponibilidad hídrica y el cambio climático. El procedimiento empleado para la búsqueda de la información se realizó en base a estudios previos, como los de Aloui et al., 2023 y Tan et al., 2020, 2021. Para

[Revisión de literatura para el análisis del desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura]

optimizar la pesquisa se realizó la siguiente cadena de búsqueda mediante operadores booleanos y aplicado a la opción de *título de artículo*: ( “water resources availability” OR “water availability” OR “water” OR “runoff” OR “water balance” ) AND ( “climate change” OR “climate model” OR “climate change scenarios” OR “climate change impacts” OR “climate change effects” ) AND ( basin OR sub-basin OR watershed ) AND NOT ( cover OR landuse OR land OR use OR human OR activities OR urbanization OR crop OR erosion OR management OR green OR blue OR yield OR dam OR soil OR conservation OR quality OR sediments ). Además, para filtrar artículos que solo emplean la metodología SWAT y descartar otras metodologías, se agregó la cadena de búsqueda adicional enlazada a la anterior mediante AND y aplicado a la opción *de título de artículo, resumen y palabras clave*: SWAT AND NOT ( weap OR “Water Evaluation And Planning System” ). Estas cadenas de búsqueda se ingresaron a la base de datos de Scopus y se obtuvo como resultado un total de 99 artículos científicos indexados.

Como segundo paso se procedió a verificar el cumplimiento de los siguientes criterios: a) artículos que contenían el modelo SWAT para determinar disponibilidad hídrica y b) artículos que estén enfocados en la incidencia del cambio climático. Aquellos que cumplieron con ambos criterios fueron seleccionados para su respectivo análisis. Por otro lado, se descartaron los siguientes: aquellos que aplicaban otros modelos que no fuera exclusivamente SWAT, los que no contenían exclusivamente la variable de incidencia de cambio climático y los duplicados, quedando como resultado final un total de 30 de los 99 identificados inicialmente.

## Proceso de revisión

### *Plantilla de la revisión*

Para organizar la información en una base de datos adecuada, se empleó la ayuda de MS Excel, ordenando los artículos de acuerdo al año de su publicación, desde el más actual hasta años anteriores

y se ingresaron columnas que contenían la información de título, autores, fuente y el identificador de objetos digitales DOI.

### *Pasos para la revisión*

Una vez caracterizados los artículos por la información de la plantilla, se realizó lo siguiente: 1) Se revisó cada uno de los artículos para obtener los estadísticos empleados en la calibración y la validación del modelo, 2) Se identificaron los años de proyección a futuro empleados en cada estudio, 3) Se identificó las conclusiones principales referentes a la tendencia de las precipitaciones y la disponibilidad hídrica con efectos del cambio climático.

### **Análisis de los datos**

#### *Modelo hidrológico SWAT*

El estudio principalmente se basó en la revisión de literatura que emplea el modelo hidrológico semidistribuido SWAT, integrado con ArcGIS, debido a su eficacia en simular procesos agrícolas y forestales, destacando su reconocimiento internacional como herramienta confiable para modelar cuencas multipropósito. Este modelo facilita la toma de decisiones y la gestión de cuencas al considerar diversos procesos ambientales. Es preferido en lugares con escasez de datos por su capacidad para generar datos climáticos durante la simulación (Assfaw et al., 2023).

#### *Calibración y validación del modelo*

Cada uno de los artículos revisados presentaron la fase de calibración y validación del modelo, etapas esenciales para su desarrollo, garantizando la representación precisa de los procesos simulados. La calibración ajusta parámetros y datos para mejorar la precisión de las predicciones, mientras que la validación evalúa el rendimiento del modelo con datos no utilizados durante la calibración. Este proceso ayuda a determinar

la precisión y confiabilidad del modelo en diversas condiciones, identificando posibles sesgos o errores (Karam et al., 2023).

Para la calibración, validación, verificación, solidez y fortaleza del modelo SWAT, es vital evaluar sus resultados simulados frente a observaciones reales empleando algunas métricas conocidas. Por lo tanto, se procuró que la literatura revisada en su mayoría presente las siguientes pruebas estadísticas: NSE (Eficiencia de Nash-Sutcliffe),  $R^2$  (Coeficiente de Determinación), PBias (Porcentaje de sesgo) y RSR (Raíz del Error Cuadrático Medio Normalizado) con el objetivo de verificar el rendimiento del modelo (Akhtar et al., 2021).

De cada una de las revistas, se extrajeron los valores de las pruebas estadísticas. Su rendimiento fue calificado según el siguiente cuadro:

**Tabla 1**  
*Indicadores estadísticos para la evaluación del desempeño del modelo*

| Clasificación de Rendimiento | NSE                    | $R^2$                  | PBIAS (%)                    | RSR                   |
|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Muy bueno                    | $0,75 < NSE \leq 1$    | $0,75 < R^2 \leq 1$    | $-10 < PBIAS < 10$           | $0 \leq RSR \leq 0,5$ |
| Bueno                        | $0,65 < NSE \leq 0,75$ | $0,65 < R^2 \leq 0,75$ | $\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$ | $0,5 < RSR \leq 0,6$  |
| Satisfactorio                | $0,5 < NSE \leq 0,65$  | $0,5 < R^2 \leq 0,65$  | $\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$ | $0,6 < RSR \leq 0,7$  |
| Insatisfactorio              | $NSE \leq 0,5$         | $R^2 \leq 0,5$         | $PBIAS \geq 25$              | $RSR > 0,7$           |

*Nota.* Tomado de *Evaluating Future Streamflow Patterns under SSP245 Scenarios: Insights from CMIP6* (Haleem et al., 2023).

### **Impacto del cambio climático en las precipitaciones y la disponibilidad hídrica**

En la revisión de la literatura, se compiló los resultados más resaltantes referidos a la tendencia tanto positiva o negativa de las precipitaciones y la disponibilidad hídrica obtenidas como resultado de aplicación del modelo en las diferentes cuencas y subcuencas estudiadas en los artículos. En base a esa información, se clasificaron y se realizaron gráficos para su respectiva interpretación y verificación de la tendencia en general.

## **Desarrollo y discusión**

### **Características generales de la literatura**

A continuación, se muestra la literatura seleccionada en este estudio, de acuerdo a lo planteado en el capítulo anterior, la cual fue revisada minuciosamente para su respectivo análisis mediante el procedimiento antes mencionado. Se trata de 30 artículos indexados en la base de datos de Scopus. El periodo de publicación fue desde 2014 a 2024, pero se encontró finalmente artículos desde 2016 a 2024 (Tabla 2).

[Revisión de literatura para el análisis del desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura]

**Tabla 2***Listado de literatura seleccionada*

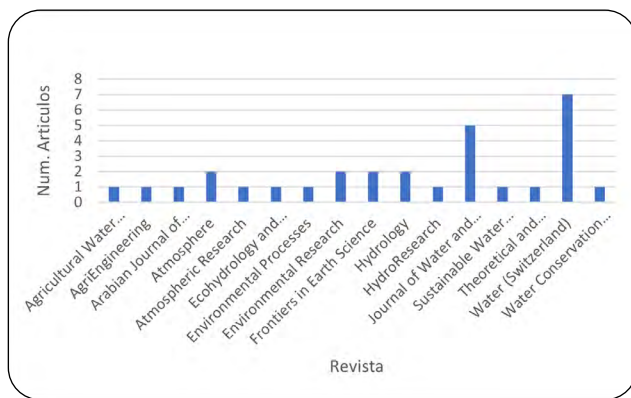
| Referencia                   | Revista                                    | País        |
|------------------------------|--|-------------|
| Al-Falahi et al. (2024)      | Theoretical and Applied Climatology        | Yemen       |
| Alawi & Özkul (2023)         | Journal of Water and Climate Change        | Afganistán  |
| Nath Prajapati et al. (2023) | HydroResearch                              | Nepal       |
| Deng et al. (2023)           | Frontiers in Earth Science                 | China       |
| Balcha et al. (2023)         | Journal of Water and Climate Change        | Etiopía     |
| Abesh et al. (2022)          | Water (Switzerland)                        | EE. UU      |
| Ich et al. (2022)            | Journal of Water and Climate Change        | Camboya     |
| Merga et al. (2022)          | Atmosphere                                 | Etiopía     |
| Ougahi et al. (2022)         | Journal of Water and Climate Change        | India       |
| Fu et al. (2022)             | Frontiers in Earth Science                 | China       |
| Pulighe et al. (2021)        | Hydrology                                  | Italia      |
| Saade et al. (2021)          | Hydrology                                  | Líbano      |
| Grusson et al. (2021)        | Agricultural Water Management              | Suecia      |
| Budhathoki et al. (2021)     | Ecohydrology and Hydrobiology              | Nepal       |
| Haider et al. (2020)         | Atmosphere                                 | Pakistán    |
| Okwala et al. (2020)         | Environmental Research                     | Tailandia   |
| Dahal et al. (2020)          | Environmental Research                     | Nepal       |
| Boru et al. (2019)           | Sustainable Water Resources Management     | Etiopía     |
| Blanco-Gómez et al. (2019)   | Water (Switzerland)                        | El Salvador |
| Khalilian & Shahvari (2019)  | AgriEngineering                            | Irán        |
| Fentaw et al. (2018)         | Water Conservation Science and Engineering | Etiopía     |
| Zaman et al. (2018)          | Water (Switzerland)                        | China       |
| Yu et al. (2018)             | Arabian Journal of Geosciences             | China       |
| Mishra et al. (2018)         | Water (Switzerland)                        | Nepal       |
| Huyen et al. (2017)          | Journal of Water and Climate Change        | Vietnam     |
| Chattopadhyay et al. (2017)  | Environmental Processes                    | EE. UU      |
| Luo et al. (2017)            | Water (Switzerland)                        | China       |
| Tan et al. (2017)            | Atmospheric Research                       | Malasia     |
| Yin et al. (2016)            | Water (Switzerland)                        | China       |
| Li et al. (2016)             | Water (Switzerland)                        | China       |

*Nota.* La tabla muestra los resultados de la fase de búsqueda y selección de artículos. Se encontraron 99 inicialmente, pero solo fueron seleccionados 30.



Con respecto a la cantidad de publicaciones que se han hecho sobre el modelamiento de disponibilidad hídrica futura mediante SWAT, se puede apreciar (Figura 2) que las revistas *Journal of Water and Climate Change* y *Water (Switzerland)* han sido las que poseen mayor cantidad de publicaciones respecto al tema, con 5 y 7 artículos.

**Figura 2**  
*Distribución de los artículos por año de publicación*



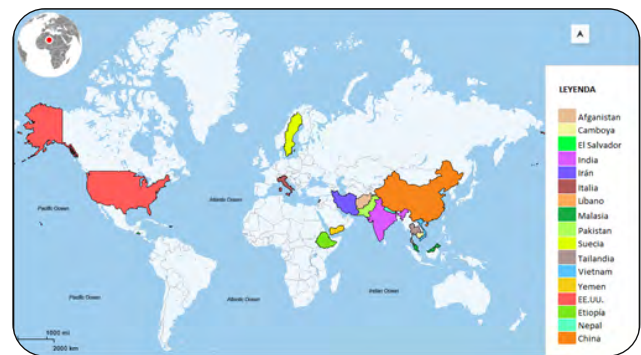
Con respecto al año de publicación, los artículos referidos al modelamiento de disponibilidad hídrica futura mediante SWAT y que fueron revisados en este estudio, muestran que el 43.33% fueron publicados entre los años 2021, 2022 y 2023. El porcentaje restante se distribuye en los años 2016 al 2020 y 2024, resaltando que la mayor cantidad de artículos que se publicaron corresponden al año 2022 (Figura 3).

**Figura 3**  
*Distribución de los artículos por año de publicación*



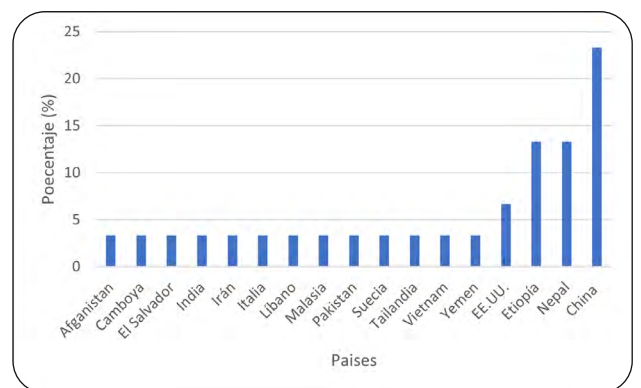
Especialmente, los artículos referidos modelamiento de disponibilidad hídrica futura mediante SWAT y que fueron revisados en este estudio, se publicaron en su mayoría en la República de China (23%), seguido de Etiopía y Nepal (13%). (figuras 4 y 5).

**Figura 4**  
*Distribución de los artículos por año de publicación*



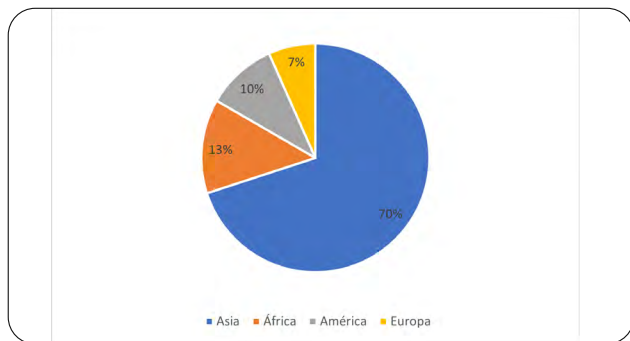
*Nota.* La figura muestra la distribución de los artículos revisados según el país donde pertenece su área de estudio.

**Figura 5**  
*Distribución espacial de los artículos - países*



El 70% de los estudios revisados se encuentran en Asia, el 13% en África, el 10% en América y el 7% en Europa (Figura 6).

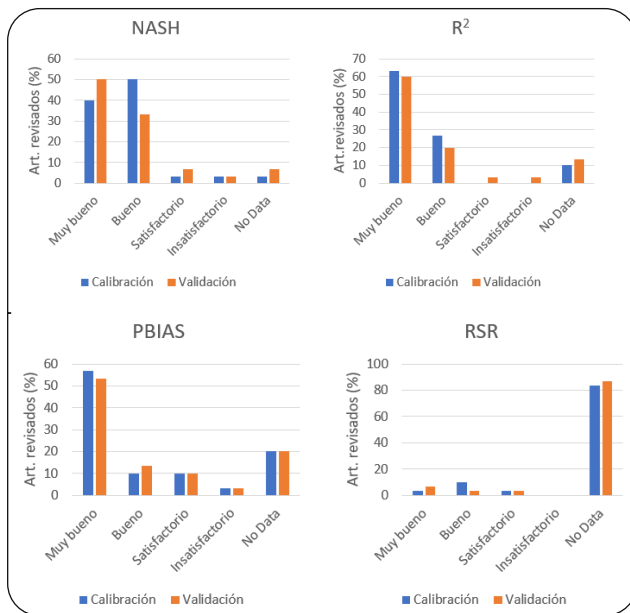
[Revisión de literatura para el análisis del desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura]

**Figura 6***Distribución espacial de los artículos por continentes*

*Nota.* La figura muestra que la mayor cantidad de estudios fueron realizados en el continente asiático.

### Calibración y validación del modelo

Durante la calibración, el modelo SWAT tuvo un buen desempeño en la mayoría de los artículos revisados. Se evidenció que el 90% de los artículos

**Figura 7***Pruebas estadísticas en la calibración y validación*

*Nota.* La figura muestra la calificación de los estadísticos para la calibración y validación de los modelos en los artículos revisados.

revisados obtuvieron un NSE catalogado entre Bueno a Muy bueno, el 90% de los artículos un R<sup>2</sup> catalogado entre Bueno a Muy bueno, el 67% de los artículos un PBIAS calificado entre Bueno y Muy Bueno a diferencia de que solo un 13% de los artículos obtuvieron un RSR catalogado entre Bueno y Muy bueno, debido a que el 83% de los estudios no consideraron este estadístico, ya que si lo hubieran hecho, es muy probable que los resultados hubieran sido favorables.

Durante la validación, el modelo SWAT tuvo un buen desempeño en la mayoría de los artículos revisados. Se evidenció que el 83% de los artículos revisados obtuvo un NSE catalogado entre Bueno a Muy bueno, el 80% de los artículos un R<sup>2</sup> catalogado entre Bueno a Muy bueno, el 66% de los artículos un PBIAS calificado entre Bueno y Muy bueno a diferencia de que solo un 10% de los artículos obtuvo un RSR catalogado entre Bueno y Muy bueno debido a que el 87% de los estudios no consideraron este estadístico, ya que, si lo hubieran hecho, es muy probable que los resultados hubieran sido favorables (Figura 7).

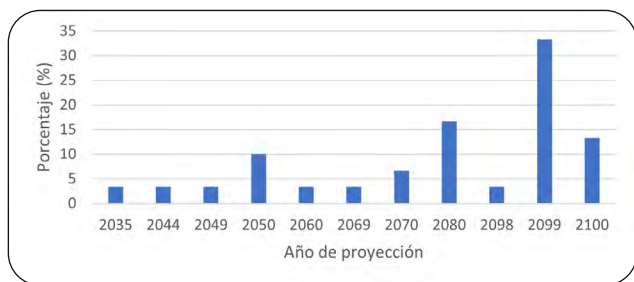
### Impacto de cambio climático en las precipitaciones y la disponibilidad hídrica futura

En cuanto a los años de proyección empleados en los estudios revisados, aproximadamente el 33% de los estudios realizaron proyecciones al año 2099, el 16% al año 2080 y 13% al 2100. La mayoría de los estudios proyectaron sus modelos entre los años 2080 al 2100 (Figura 8).



**Figura 8**

*Distribución de los artículos según proyección a futuro*

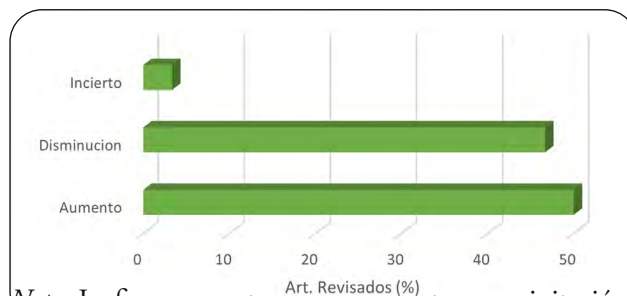


*Nota.* La figura muestra que la mayoría de los modelos se proyectaron al año 2099.

En cuanto a las tendencias de proyecciones en la precipitación y la disponibilidad hídrica futura, se obtuvo que, con respecto a la precipitación, el 50% de los estudios determinó que en el futuro se presentará un aumento de las precipitaciones, el 46.67% determinó que en el futuro se presentará una disminución de las precipitaciones y solo un 3.33% determinó un futuro en el que es incierto determinar un aumento o disminución, necesitando mayores estudios. Por último, con respecto a la disponibilidad hídrica, el 33.33% de los estudios determinó que en el futuro se presentará un aumento en la disponibilidad hídrica, el 66.3% indicó que en el futuro se presentará una disminución en la disponibilidad hídrica y solo un 3.33% concluyó un futuro en el que es incierto determinar un aumento o disminución, pues se necesitan mayores estudios (figuras 9 y 10).

**Figura 9**

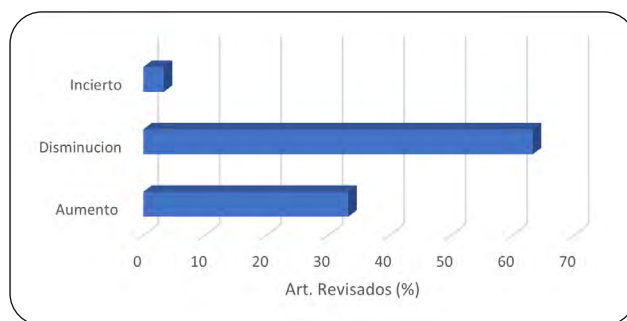
*Tendencia de la precipitación a futuro*



*Nota.* La figura muestra que, en cuanto a precipitación, existe una tendencia tanto al aumento y disminución.

**Figura 10**

*Tendencia de la disponibilidad hídrica a futuro*



*Nota.* La figura muestra que, en cuanto a la disponibilidad hídrica, existe una tendencia mayoritaria a la disminución del recurso hídrico.

## Discusión

En la calibración y validación del modelo, en esta revisión de 30 artículos indexados se verificó que la mayoría de los resultados obtuvieron un desempeño entre *bueno* y *muy bueno* a diferencia del estudio realizado por Tan et al. (2020) quien comparó 111 artículos indexados que en su mayoría obtuvieron un desempeño *satisfactorio*, que en realidad no se aleja mucho a lo encontrado en este estudio. Por ello, se puede decir que, en ambos casos, se obtuvieron resultados por encima del mínimo requerido, lo cual evidencia una buena representación del modelo SWAT con respecto a los procesos hidrológicos. Otros estudios realizados como los de (Aloui et al., 2023; Tan et al., 2021), también

[Revisión de literatura para el análisis del desempeño del modelo SWAT en la disponibilidad hídrica futura]

muestran el buen desempeño del modelo, reforzando nuestros resultados.

Con respecto a la tendencia de resultados en cuanto a las precipitaciones y disponibilidad hídrica futuras, en esta revisión se encontró una tendencia significativa a la disminución progresiva de ambos, al igual que en el estudio realizado por Marin et al. (2020) quien resalta una afectación a los procesos hidrológicos ocasionada por una tendencia a la disminución. Por eso recomienda emplear el modelo como una herramienta de gestión para adoptar medidas sostenibles y mitigar los efectos del cambio climático con la finalidad de mejorar la resiliencia de las poblaciones, lo mismo que se enfatiza en este estudio.

## Conclusiones

Esta revisión, en cuanto a la validez del modelo empleado en los diferentes estudios analizados, evidenció que el modelo SWAT tiene muy buena aplicabilidad en diferentes cuencas a nivel mundial. Se destaca que presentó un buen desempeño y confiabilidad, demostrando ser una herramienta valiosa para investigaciones hidroclimáticas futuras.

En cuanto a la tendencia de precipitaciones futuras, existe una tendencia a la disminución progresiva de estas, por lo que es importante tomar medidas inmediatas con la finalidad de mitigar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico. Se espera sequías prolongadas y en algunos casos inundaciones.

En cuanto a la tendencia de la disponibilidad hídrica, esta disminuirá progresivamente en el futuro, llegando a ser un problema, agravado por el incremento demográfico. Por lo tanto, se recomienda tomar acciones inmediatas asegurando y promoviendo el uso sostenible de los recursos hídricos.

## Referencias

- Abesh, B. F., Jin, L., & Hubbart, J. A. (2022). Predicting Climate Change Impacts on Water Balance Components of a Mountainous Watershed in the Northeastern USA. *Water (Switzerland)*, 14(20). DOI: <https://doi.org/10.3390/w14203349>
- Akhtar, F., Awan, U. K., Borgemeister, C., & Tischbein, B. (2021). Coupling remote sensing and hydrological model for evaluating the impacts of climate change on streamflow in data-scarce environment. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24). DOI: <https://doi.org/10.3390/su132414025>
- Alawi, S. A., & Özkul, S. (2023). Impact assessment of climate change on water resources of the Kokcha watershed: a sub-basin of the Amu Darya river basin in Afghanistan. *Journal of Water and Climate Change*, 14(5). DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.504>
- Al-Falahi, A. H., Saddique, · Naeem, Spank, · Uwe, Pluntke, · Thomas, Gebrechorkos, S. H., Mauder, M., & Bernhofer, · Christian. (2024). Hydrological investigation of climate change impact on water balance components in the agricultural terraced watersheds of Yemeni highland. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04913-x>
- Aloui, S., Mazzoni, A., Elomri, A., Aouissi, J., Boufekane, A., & Zghibi, A. (2023). A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) studies of Mediterranean catchments: Applications, feasibility, and future directions. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 326). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116799>

- Assfaw, M. T., Neka, B. G., & Ayele, E. G. (2023). Modeling the impact of climate change on streamflow responses in the Kessew watershed, Middle Awash sub-basin, Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, *14*(12), 4837–4859. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.541>
- Balcha, S. K., Awass, A. A., Hulluka, T. A., Bantider, A., & Ayele, G. T. (2023). Assessment of future climate change impact on water balance components in Central Rift Valley Lakes Basin, Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, *14*(1). DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.249>
- Blanco-Gómez, P., Jimeno-Sáez, P., Senent-Aparicio, J., & Pérez-Sánchez, J. (2019). Impact of climate change on water balance components and droughts in the Guajoyo River Basin (El Salvador). *Water (Switzerland)*, *11*(11). DOI: <https://doi.org/10.3390/w11112360>
- Boru, G. F., Gonfa, Z. B., & Diga, G. M. (2019). Impacts of climate change on stream flow and water availability in Anger sub-basin, Nile Basin of Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, *5*(4). DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-019-00327-0>
- Budhathoki, A., Babel, M. S., Shrestha, S., Meon, G., & Kamalamma, A. G. (2021). Climate change impact on water balance and hydrological extremes in different physiographic regions of the West Seti River Basin, Nepal. *Ecology and Hydrobiology*, *21*(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.07.001>
- CEPAL. (2023). *Statistical Yearbook for Latin America and The Caribbean 2023*. [www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)
- Chattopadhyay, S., Edwards, D. R., Yu, Y., & Hamidisepehr, A. (2017). An Assessment of Climate Change Impacts on Future Water Availability and Droughts in the Kentucky River Basin. *Environmental Processes*, *4*(3). DOI: <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0259-2>
- Dahal, P., Shrestha, M. L., Panthi, J., & Pradhananga, D. (2020). Modeling the future impacts of climate change on water availability in the Karnali River Basin of Nepal Himalaya. *Environmental Research*, *185*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109430>
- Deng, Y., Yao, Y., Zhao, Y., Luo, D., Cao, B., Kuang, X., & Zheng, C. (2023). Impact of climate change on the long-term water balance in the Yarlung Zangbo basin. *Frontiers in Earth Science*, *11*. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1107809>
- Fentaw, F., Hailu, D., Nigussie, A., & Melesse, A. M. (2018). Climate Change Impact on the Hydrology of Tekeze Basin, Ethiopia: Projection of Rainfall-Runoff for Future Water Resources Planning. *Water Conservation Science and Engineering*, *3*(4). DOI: <https://doi.org/10.1007/s41101-018-0057-3>
- Fu, Z., Xie, Y., Zhang, Y., Jiang, X., Guo, H., & Wang, S. (2022). Water Resource Availability Assessment Through Hydrological Simulation Under Climate Change in the Huangshui Watershed of the Qinghai-Tibet Plateau. *Frontiers in Earth Science*, *9*. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2021.755119>
- Grusson, Y., Wesström, I., Svedberg, E., & Joel, A. (2021). Influence of climate change on water partitioning in agricultural watersheds: Examples from Sweden. *Agricultural Water Management*, *249*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106766>

- Haider, H., Zaman, M., Liu, S., Saifullah, M., Usman, M., Chauhdary, J. N., Anjum, M. N., & Waseem, M. (2020). Appraisal of climate change and its impact on water resources of Pakistan: A case study of mangla watershed. *Atmosphere*, *11*(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11101071>
- Haleem, K., Khan, A. U., Khan, J., Ghanim, A. A. J., & Al-Areeq, A. M. (2023). Evaluating Future Streamflow Patterns under SSP245 Scenarios: Insights from CMIP6. *Sustainability*, *15*(22), 16117. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152216117>
- Huyen, N. T., Tu, L. H., Tram, V. N. Q., Minh, D. N., Liem, N. D., & Loi, N. K. (2017). Assessing the impacts of climate change on water resources in the Srepok watershed, central highland of Vietnam. *Journal of Water and Climate Change*, *8*(3). DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2017.135>
- Ich, I., Sok, T., Kaing, V., Try, S., Chan, R., & Oeurng, C. (2022). Climate change impact on water balance and hydrological extremes in the Lower Mekong Basin: a case study of Prek Thnot River Basin, Cambodia. *Journal of Water and Climate Change*, *13*(8). DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.051>
- IPCC. (2023). Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Technical Summary. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- Iranmanesh, R., Jalalkamali, N., & Tayari, O. (2021). Water resources availability under different climate change scenarios in South East Iran. *Journal of Water and Climate Change*, *12*(8). DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.373>
- Karam, S., Zango, B. S., Seidou, O., Perera, D., Nagabhatla, N., & Tshimanga, R. M. (2023). Impacts of Climate Change on Hydrological Regimes in the Congo River Basin. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/su15076066>
- Khalilian, S., & Shahvari, N. (2019). A SWAT Evaluation of the Effects of Climate Change on Renewable Water Resources in Salt Lake Sub-Basin, Iran. *AgriEngineering*, *1*(1). DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering1010004>
- Li, F., Zhang, G., & Xu, Y. J. (2016). Assessing climate change impacts on water resources in the Songhua River Basin. *Water (Switzerland)*, *8*(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/w8100420>
- Luo, M., Meng, F., Liu, T., Duan, Y., Frankl, A., Kurban, A., & de Maeyer, P. (2017). Multi-model ensemble approaches to assessment of effects of local climate change on water resources of the Hotan River basin in Xinjiang, China. *Water (Switzerland)*, *9*(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/w9080584>
- Marin, M., Clinciu, I., Tudose, N. C., Ungurean, C., Adorjani, A., Mihalache, A. L., Davidescu, A. A., Davidescu, O., Dinca, L., & Cacovean, H. (2020). *Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109330>
- Merga, D. D., Adeba, D., Regasa, M. S., & Leta, M. K. (2022). Evaluation of Surface Water Resource Availability under the Impact of Climate Change in the Dhidhessa Sub-Basin, Ethiopia. *Atmosphere*, *13*(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13081296>

- Mishra, Y., Nakamura, T., Babel, M. S., Ninsawat, S., & Ochi, S. (2018). Impact of climate change on water resources of the Bheri River Basin, Nepal. *Water (Switzerland)*, *10*(2). DOI: <https://doi.org/10.3390/w10020220>
- Näschen, K., Dieckkrüger, B., Leemhuis, C., Seregina, L. S., & van der Linden, R. (2019). Impact of climate change on water resources in the Kilombero Catchment in Tanzania. *Water (Switzerland)*, *11*(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/w11040859>
- Nath Prajapati, R., Ibrahim, N., & Thapa, R. (2023). *Climate change impact on water availability in the Himalaya: Insights from Sunkoshi River basin, Nepal*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.10.002>
- Nedkov, S., Campagne, S., Borisova, B., Krpec, P., Prodanova, H., Kokkoris, I. P., Hristova, D., Le Clec'h G, S., Santos-Martin, F., Burkhard, B., Bekri, E. S., Stoycheva, V., Bruzón, A. G., & Dimopoulos, P. (2022). Modeling water regulation ecosystem services: A review in the context of ecosystem accounting. *Ecosystem Services*, *56*, 101458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101458>
- Nilawar, A. P., & Waikar, M. L. (2019). Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of the Total Environment*, *650*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.334>
- Okwala, T., Shrestha, S., Ghimire, S., Mohanasundaram, S., & Datta, A. (2020). Assessment of climate change impacts on water balance and hydrological extremes in Bang Pakong-Prachin Buri river basin, Thailand. *Environmental Research*, *186*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109544>
- Ougahi, J. H., Cutler, M. E. J., & Cook, S. J. (2022). Modelling climate change impact on water resources of the Upper Indus Basin. *Journal of Water and Climate Change*, *13*(2). DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.233>
- Pulighe, G., Lupia, F., Chen, H., & Yin, H. (2021). Modeling climate change impacts on water balance of a mediterranean watershed using swat+. *Hydrology*, *8*(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology8040157>
- Quansah, J. E., Naliaka, A. B., Fall, S., Ankumah, R., & Afandi, G. El. (2021). Assessing future impacts of climate change on streamflow within the alabama river basin. *Climate*, *9*(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/cli9040055>
- Reshma, C., & Arunkumar, R. (2023). Assessment of impact of climate change on the streamflow of Idamalayar River Basin, Kerala. *Journal of Water and Climate Change*, *14*(7). DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.456>
- Saade, J., Atieh, M., Ghanimeh, S., & Golmohammadi, G. (2021). Modeling impact of climate change on surface water availability using swat model in a semi-arid basin: Case of el kalb river, lebanon. *Hydrology*, *8*(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY8030134>
- Siddaway, A. P., Wood, A. M., & Hedges, L. V. (2019). How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. In *Annual Review of Psychology* (Vol. 70). DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>

- Tan, M. L., Gassman, P. W., Liang, J., & Haywood, J. M. (2021). A review of alternative climate products for SWAT modelling: Sources, assessment and future directions. In *Science of the Total Environment* (Vol. 795). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148915>
- Tan, M. L., Gassman, P. W., Yang, X., & Haywood, J. (2020). A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes. In *Advances in Water Resources* (Vol. 143). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103662>
- Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Yusop, Z., Chua, V. P., & Chan, N. W. (2017). Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*, 189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.01.008>
- Touseef, M., Chen, L., & Yang, W. (2021). Assessment of surfacewater availability under climate change using coupled SWAT-WEAP in hongshui river basin, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10050298>
- Yin, Z., Feng, Q., Zou, S., & Yang, L. (2016). Assessing variation in water balance components in mountainous Inland River Basin experiencing climate change. *Water (Switzerland)*, 8(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/w8100472>
- Yu, Y., Liu, J., Yang, Z., Cao, Y., Chang, J., & Mei, C. (2018). Effect of climate change on water resources in the Yuanshui River Basin: a SWAT model assessment. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(11). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3619-y>
- Zaman, M., Anjum, M. N., Usman, M., Ahmad, I., Saifullah, M., Yuan, S., & Liu, S. (2018). Enumerating the effects of climate change on water resources using GCM scenarios at the Xin'anjiang Watershed, China. *Water (Switzerland)*, 10(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/w10101296>