

Simulación hidrológica de la cuenca del río Motatán,

estado Trujillo, Venezuela, por medio de WEAP

Simulação hidrológica da bacia do rio Motatán, estado Trujillo,
Venezuela, por meio do WEAP

Hydrological simulation of the Motatán River basin, Trujillo
State, Venezuela, through WEAP

**Jackeline C. Peña Suárez¹, Roberto J. Torres-Hoyer², Jesús Torres-Hoyer² y
Oswaldo J. Peña Villegas¹**

¹ Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería

² Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería. Centro de Investigación GEOKIMÜN
Temuco, La Araucanía, Chile

jpena@uct.cl; rtorres@uct.cl; j.torres@uct.cl; opena@uct.cl

Peña Suárez: <https://orcid.org/0000-0001-6025-6428>

Torres Roberto: <https://orcid.org/0000-0002-3701-2561>

Torres Jesús: <https://orcid.org/0000-0002-3573-8350>

Peña Villegas: <https://orcid.org/0000-0002-1165-6481>

Resumen

El agua es un recurso vital y se distribuye desigualmente en el espacio y tiempo, enfrentando, además, desafíos por contaminación. Diversos estudios abordan problemas como sequías, flujos de agua y falta de tratamiento de aguas residuales, pero se centran fundamentalmente en la escasez hídrica. Este estudio se enfoca en la calibración y validación del modelo hidrológico de la cuenca del río Motatán, crucial para el centro-occidente de Venezuela, utilizando WEAP para la simulación hidrológica. La metodología incluyó recopilación, diagnóstico, procesamiento de datos y análisis, evaluando la precisión del modelo con indicadores como el coeficiente de correlación y el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe. WEAP exhibió una correlación relación lineal y eficiencia en la simulación de caudales. Los parámetros ajustados reflejan las características de las subcuencas Carache y Motatán, profundizando la comprensión hidrológica y contribuyendo a la gestión efectiva de los recursos hídricos en la región.

PALABRAS CLAVE: planificación; simulación hidrológica; gestión hídrica; calibración.

Resumo

A água é um recurso vital e se distribui desigualmente no espaço e no tempo, enfrentando, além disso, desafios por contaminação. Diversos estudos abordam problemas como secas, fluxos de água e falta de tratamento de águas residuais, mas se concentram fundamentalmente na escassez hídrica. Este estudo se foca na calibração e validação do modelo hidrológico da bacia do rio Motatán, crucial para o centro-oeste da Venezuela, utilizando o WEAP para a simulação hidrológica. A metodologia inclui coleta, diagnóstico, processamento de dados e análise, avaliando a precisão do modelo com indicadores como o coeficiente de correlação e o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe. O WEAP exibiu uma sólida relação linear e eficiência na simulação de vazões. Os parâmetros ajustados refletem as características das sub-bacias Carache e Motatán, aprofundando a compreensão hidrológica e contribuindo para a gestão efetiva dos recursos hídricos na região.

PALAVRAS-CHAVE: planejamento; simulação hidrológica; gestão hídrica; calibração.

Abstract

Water is a vital resource and is distributed unevenly in space and time, also facing challenges due to pollution. Various studies address problems such as droughts, water flows and lack of wastewater treatment, but they mainly focus on water scarcity. This study focuses on the calibration and validation of the hydrological model of the Motatán River basin, crucial for central-western Venezuela, using WEAP for hydrological simulation. The methodology includes collection, diagnosis, data processing and analysis, evaluating the accuracy of the model with indicators such as the correlation coefficient and the Nash-Sutcliffe efficiency index. WEAP exhibited a strong linear relationship and efficiency in flow simulation. The adjusted parameters reflect the characteristics of the Carache and Motatán subbasins, deepening hydrological understanding and contributing to the effective management of water resources in the region.

KEYWORDS: planning; hydrological simulation; water management; calibration.

1. Introducción

El agua, siendo un recurso esencial, enfrenta desafíos sustanciales en términos de cantidad y calidad. Goldstein y otros (2012) nos muestran la relación entre ambos parámetros y como está asociado al uso del suelo. Esto resalta la necesidad de establecer medidas efectivas de planificación y regulación del recurso hídrico y el impacto del uso del suelo, especialmente en un contexto global marcado por la creciente inquietud ambiental relacionada con la contaminación del agua, su disponibilidad y el cambio climático. Este panorama ha generado un notable aumento en el interés por abordar estos problemas de manera integral.

La situación se hace evidente en regiones específicas, como el centro-sur de Chile, que ha experimentado una prolongada sequía desde 2010, afectando los caudales y generando la necesidad de soluciones efectivas (Castillo, 2022). Ante estos desafíos, se han desarrollado herramientas avanzadas en hidrología, entre las que destaca el *Water Evaluation and Planning System* (WEAP), diseñado para modelar cuencas y realizar simulaciones que permitan optimizar la planificación del uso del agua.

Investigadores como Castillo (2022) han aplicado el WEAP para comprender los recursos hídricos en cuencas específicas, como la del río Itata. Del mismo modo, estudios en Colombia (García *et al.*, 2014), España (Morote, 2014), y Perú (Pilares *et al.*, 2018) han utilizado el WEAP para evaluar la gestión del agua en contextos geográficos diversos, revelando su versatilidad y aplicabilidad global.

En este contexto, el estudio propuso modelar y evaluar por medio de la herramienta WEAP haciendo simulaciones hidrológicas en la cuenca del río Motatán, con un enfoque particular en la presa de Agua Viva en el estado Trujillo, Venezuela. El objetivo abordado fue la planificación de los recursos hídricos de manera integral, buscando proteger, optimizar y gestionar eficazmente el agua para satisfacer las demandas, lograr un equilibrio en su manejo y fomentar el desarrollo regional armonioso, especialmente ante los cambiantes escenarios

que se pueden producir por múltiples razones, buscando generar una discusión informada sobre cómo enfrentar estos desafíos críticos en el manejo del agua. Se destaca en el artículo un resumen metodológico que se implementó, junto a una discusión de los resultados, en conformidad con la calibración y la posterior validación, quedando un modelo para establecer escenarios en la cuenca analizada.

2. Marco metodológico

La investigación desarrollada es de tipo correlacional que miden las variables lluvia – escorrentía y caudal, analizando cómo están vinculados estos fenómenos entre sí. La utilidad y el propósito principal de los estudios de correlación es saber cómo se puede comportar una variable conociendo la otra (Hernández *et al.*, 1996).

Por otra parte, se tiene el diseño de la investigación que, de acuerdo a la estrategia de la investigación, se clasifica como no experimental, se observan los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos (Hernández *et al.*, 1996). Por ende, para desarrollar el tipo y el diseño de la investigación tenemos las siguientes etapas:

- 1) Recopilación de la información existente, que comprendió de la revisión de información cartográfica, climatológica, hidrométrica e hidrogeológica de trabajos de investigación elaborados en el área de estudio, tanto por entes públicos como particulares.
- 2) Diagnóstico: En el proceso de revisión de bibliografía, se verificó un mapa elaborado por Jaimes *et al.* en el 2005, usándose como base para la digitalización de la cuenca con *ArcGIS*. También se analizó la variabilidad de los suelos y su uso, particularmente en la subcuenca Carache.
- 3) Procesamiento de la información que consistió en varias etapas como: selección del período de registro para efectuar la calibración del modelo WEAP; elección de las estaciones medidoras de precipitación, evaporación, y escorrentía del área en

estudio para, posteriormente, crear el modelo con la respectiva calibración y validación del modelo en WEAP.

- 4) Análisis de los resultados: Se realizó un análisis acorde a la investigación de los resultados obtenidos con el uso del modelo WEAP para la valoración y cuantificación de las variables estocásticas.
- 5) Resultados y discusión: para generar las conclusiones, luego de analizar los resultados con los cuales se otorgan las recomendaciones pertinentes.

3. Simulación hidrológica

Durante la revisión de la data de la estación hidrométrica en Agua Viva, se observó que los registros de caudales históricos comprenden el período 1942-1970, ubicada en la zona de estudio, realizando la calibración del modelo hidrológico para ese periodo de tiempo.

3.1 Datos de entrada

Mejías (2005) realizó un análisis de consistencia de las estaciones que tienen influencia dentro del área de estudio, evaluando los registros de datos suficientes y representativos de las condiciones climáticas, del período 1942-1996, estimándose la precipitación media por el método de los polígonos de Thiessen y el de las Isoyetas, obteniendo valores de precipitaciones medias de 1.026,4 mm y 1.046,5 mm, respectivamente.

Determinada la precipitación media por ambos métodos se realizó un promedio de los valores medios obtenidos llegando a la conclusión de que la precipitación media en la cuenca del río Motatán es de 1.036,5 mm.

A continuación, se procedió a analizar las estaciones en cada subcuenca, eligiendo aquellas que tuvieran un promedio de precipitación cercano al promedio y un extenso registro de precipitaciones. Como resultado, se seleccionaron las estaciones Guamas de Monay

para la subcuenca Carache y Escuque para la subcuenca Motatán, con promedios de precipitación de 1.194,05 mm y 859,23 mm, respectivamente. El promedio combinado de ambas estaciones se calculó en 1.026,64 mm.

Se generó la escorrentía como dato de entrada al WEAP por el método de humedad del suelo, ya que incorpora parámetros agronómicos e hidrológicos y que representan estratos de suelo. Este método considera factores como la evapotranspiración, las condiciones climáticas, los usos del suelo en el estrato superior, así como el flujo base del río y las variaciones en la humedad del suelo en el estrato inferior. Estos aspectos permiten una descripción precisa del comportamiento de cada variable.

3.2 Creación del modelo

Con la distribución de las zonas, el área de estudio queda dividida hasta Agua Viva en dos subcuencas, identificadas como subcuenca del río Carache y subcuenca del río Motatán. Las cuales quedan finalmente representadas en el modelo WEAP por dos elementos como se observa en la FIGURA 1.

3.3 Datos de entrada para el modelo

Es necesario, para cada elemento del modelo, introducir variables de precipitación y temperatura, así como también los parámetros agronómicos/hidrológicos que se consideran en la formulación del modelo específicos para cada tipo de suelo (Jaimes *et al.*, 2005).

En cuanto a la entrada de los parámetros de precipitación se utilizó para la subcuenca Motatán la estación de precipitación Escuque (FIGURA 2); y para la subcuenca Carache, la estación Guamas de Monay. Las estaciones de temperatura seleccionadas corresponden a la estación Valera Aeropuerto y Guamas de Monay (Peña, 2017).

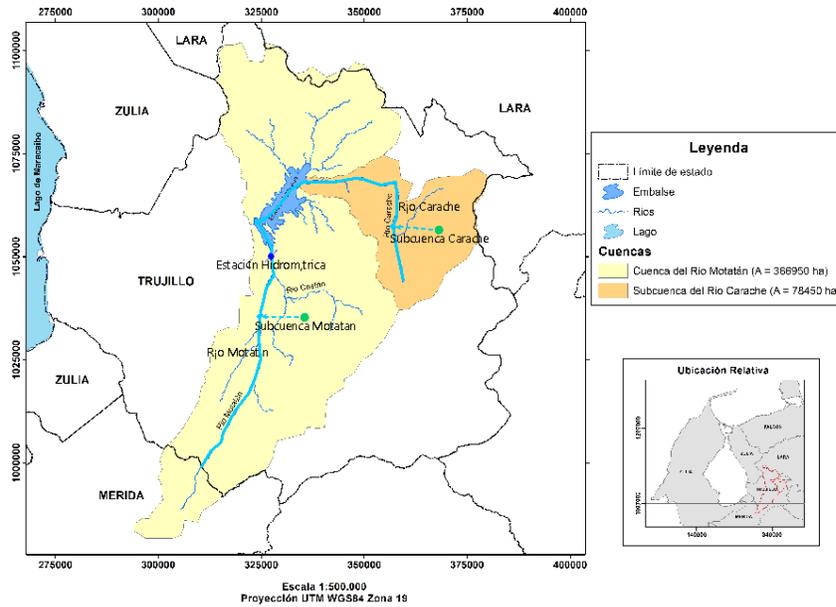


FIGURA 1. Delimitación de la cuenca del río Motatán y subdivisión en las subcuencas Carache y Motatán (Jaimes *et al.*, 2005)



FIGURA 2. Entrada de datos de precipitación de la estación Escuque para la subcuenca Motatán

Los registros de caudales de la estación hidrométrica en Agua Viva (Mejías, 2005) se introdujeron en el medidor de caudal, el cual está ubicado en el punto de cierre de la cuenca; estos caudales representan los históricos del área en

estudio y se utilizaron para calibrar el modelo hidrológico. También se introdujeron los parámetros agronómicos / hidrológicos, los cuales quedan definidos según el tipo de suelo en cada subestructura.

Para la estimación del rango de los valores iniciales de los diferentes parámetros agronómicos/hidrológicos (TABLAS 1 y 2), se estudiaron las características de los tipos de suelo en las unidades hidrológicas, Grassi (1988) y FAO 56 (2006), los cuales describen las características de los tipos de suelo y el comportamiento de los parámetros del uso del mismo.

TABLA 1. Usos del suelo y parámetros agronómicos/hidrológicos para cada unidad. Fuente: Peña (2017)

Subcuenca	Área (Ha)	Capacidad de agua profunda (mm)	Cobertura	Porción del área (%)	Coef. del Cultivo (Kc)	Capacidad de agua en el suelo (mm)	Factor de resistencia a la escorrentía
Carache	78450	500-750	Cultivos	15	0,9	200-400	0-10
			Bosques	10	0,9	150-200	0-10
			Pastos	35	1	750-110	0-10
			Suelos al desnudo	40	0	200	0-10
Motatán	366950	750-1000	Cultivos	30	1,1	200-400	0-10
			Bosques	40	0,9	750-1300	0-10
			Pastos	20	1	150-200	0-10
			Suelos al desnudo	10	0	200	0-10

TABLA 2. Usos del suelo y parámetros agronómicos/hidrológicos para cada unidad. Fuente: Peña (2017)

Subcuenca	Capacidad de agua profunda (mm)	Cobertura	Dirección Preferencial del flujo	Conduct. en la zona de raíces (mm/mes)	Conductividad Profunda (mm/mes)
Carache	500-750	Cultivos	0-1	165-210	50-120
		Bosques	0-1	120-210	
		Pastos	0-1	210-330	
		Suelos al desnudo	0-1	150-350	
Motatán	750-1000	Cultivos	0-1	105-150	200-400
		Bosques	0-1	150-270	
		Pastos	0-1	60-270	
		Suelos al desnudo	0-1	60-200	

4. Calibración, validación y análisis de sensibilidad

4.1 Criterios de eficiencia del modelo

Para determinar la eficiencia del modelo y su ajuste con los caudales observados se utilizaron los indicadores de *Nash Sutcliffe*, Coeficiente de correlación y el BIAS o Sesgo según las ecuaciones 1, 2 y 3 (Stockholm Environment Institute, 2009).

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (2)$$

$$Bias = 100 * \left[\frac{[(\bar{Q}_s - \bar{Q}_o)]}{\bar{Q}_o} \right] \quad (3)$$

Donde:

Nash: Criterio de *Nash-Sutcliffe*

Q_i : Caudal Simulado en un tiempo i en numero total de pasos de tiempo n

Q_o : Caudal Observado en un tiempo i en numero total de pasos de tiempo n

r : coeficiente de correlación

σ_{xy} : Covarianza (x,y)

σ_x : Desviación estándar x

σ_y : Desviación estándar y

Bias: Sesgo

análisis de sensibilidad de los parámetros agronómicos/hidrológicos de forma manual. Posteriormente se utilizó el módulo PEST (Parámetro Estimación) de calibración automática para tener una primera aproximación de ajuste de los parámetros agronómicos / hidrológicos usados en el modelo WEAP (Peña, 2017). Con el uso del módulo Pest se obtuvo un valor de ajuste de 0,7828 para el coeficiente de correlación lineal, esto indica que la variabilidad esta correctamente incluida en el proceso de calibración (Amat, 2016). En la FIGURA 3 se muestra el resultado gráfico de la calibración automática mostrado en WEAP.

4.2 Calibración del modelo WEAP

El procedimiento de calibración del modelo se realizó en dos etapas. En la primera se efectuó el

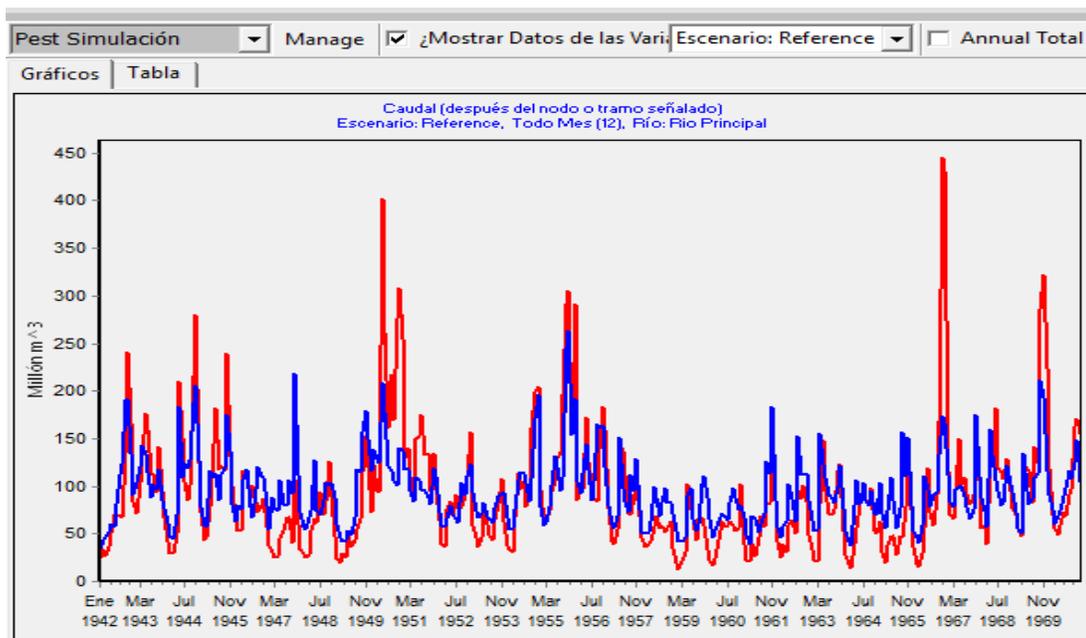


FIGURA 3. Calibración automática de los valores observados y simulados en WEAP

En la segunda etapa se procedió a revisar a través de la calibración manual de los parámetros agronómicos/hidrológicos, los coeficientes de correlación lineal entre las series, (escorrentía simulada y observada), el índice de eficiencia de *Nash-Sutcliffe* y el 'Bias o sesgo', hasta conseguir el máximo valor en cada uno de estos, que permitan concluir sobre el ajuste entre ambas series (Stockholm Environment Institute, 2009).

4.3 Análisis de los parámetros agronómicos / hidrológicos alcanzados durante el proceso de calibración

Según levantamientos hechos por Corpoandes (1971), destaca que la subcuenca Carache tiene serios problemas de deforestación y formaciones geológicas susceptibles a la degradación del suelo, con menor área de bosques y grandes pastizales que facilitan el desarrollo ganadero. Por otra parte, los cultivos tienden a ser anuales

y mayormente en zonas planas de ciclo corto y homogénea, que generan mejores condiciones para procesos de infiltración y disminución de la escorrentía en la vertiente.

5. Resultados y discusión

En las TABLAS 3 y 4 se presentan los valores de cada parámetro para el modelo calibrado que

corresponde al mejor resultado obtenido para los indicadores de eficiencia del modelo, para las subcuencas Carache y Motatán y que cumplen con el ajuste entre la escorrentía simulada y observada que pueden compararse con la TABLA 1.

TABLA 3. Valores de los parámetros agronómicos/hidrológicos en los que el modelo tuvo un buen ajuste entre las escorrentía simulada y la observada

Subcuenca	Área (Ha)	Cobertura	Porción del área (%)	Coef. del Cultivo (Kc)	Capacidad de agua en el suelo (mm)	Factor de resistencia a la escorrentía	Z1 (%)
Carache	78450	Cultivos	15	0,9	200	2	20
		Bosques	10	0,9	200	2	20
		Pastos	35	1	300	7	20
		Suelos desnudo	40	0	200	2	20
Motatán	366950	Cultivos	30	1,1	400	4	20
		Bosques	40	0,9	990	5,6	20
		Pastos	20	1	300	4	20
		Suelos al desnudo	10	0	200	2	20

TABLA 4. Valores de los parámetros agronómicos/hidrológicos en los que el modelo tuvo un buen ajuste entre las escorrentía simulada y la observada

Subcuenca	Capacidad de agua profunda (mm)	Cobertura	Dirección Preferencial del flujo	Conduct. en la zona de raíces (mm/mes)	Conductividad Profunda (mm/mes)	Z2 (%)
Carache	350	Cultivos	0,7	80	100	22
		Bosques	0,6	120		
		Pastos	0,9	80		
		Suelos al desnudo	0,7	150		
Motatán	750	Cultivos	0,5	80	370	12
		Bosques	0,4	150		
		Pastos	0,6	100		
		Suelos al desnudo	0,6	130		

La capacidad de agua en el suelo se evalúa hasta el 75% de las raíces, siendo la subcuenca Carache deficitaria en almacenamiento. La calibración refleja coherencia con las características del suelo y vegetación en ambas subcuencas. La capacidad de agua profunda es mayor en Motatán debido a

suelos más estructurados. El factor de resistencia a la escorrentía es menor en Carache, indicando mayor escorrentía superficial por suelos desprotegidos. La dirección preferencial del flujo muestra un patrón horizontal en Carache y vertical en Motatán. La conductividad en la zona

de raíces es similar en ambas subcuencas, aunque ligeramente mayor en Motatán. La conductividad profunda es significativamente mayor en Motatán debido a la mayor infiltración. El nivel de humedad en la zona de las raíces es similar en ambas subcuencas, mientras que el nivel de humedad profunda es mayor en Carache debido

a su menor capacidad de almacenamiento (Mejías, 2005).

Los valores obtenidos para las pruebas de bondades de ajuste fueron: coeficiente de correlación lineal 0,80; índice de eficiencia de *Nash-Sutcliffe*, 0,60; y Bias 4%. Estos resultados pueden observarse en las FIGURAS 4, 5 y 6, respectivamente.

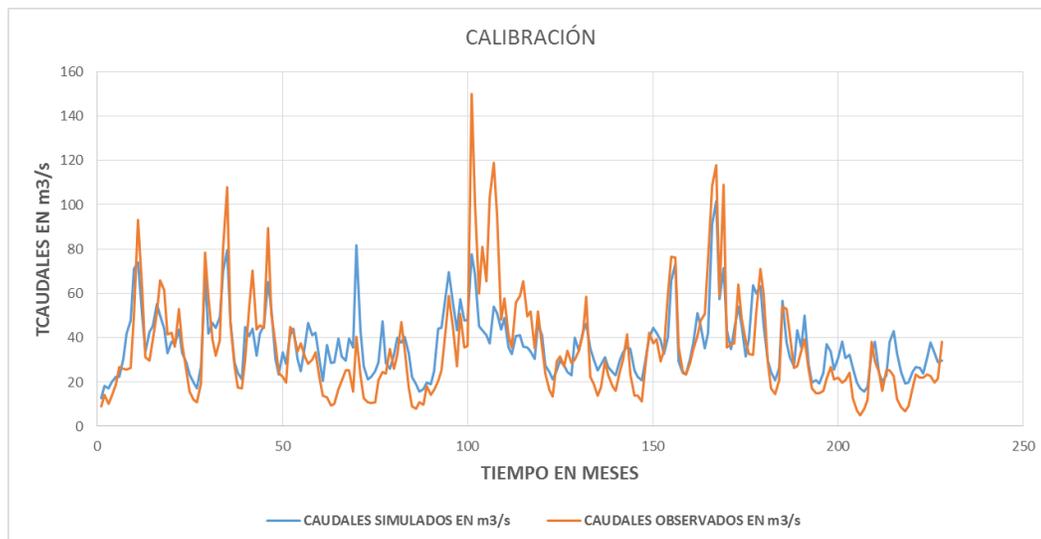


FIGURA 4. Calibración. Series de parámetros observados y simulados para el período hidrológico 1942-1960

En la FIGURA 4 se puede observar como el modelo WEAP, para los primeros cincuenta meses, subestima el comportamiento de los caudales simulados, alternándose luego durante los siguientes cien meses, mostrando al final del periodo una sobreestimación en el caudal simulado; sin embargo, el cálculo del coeficiente de correlación lineal computó un valor de 0,80, el cual refleja una relación lineal entre los caudales observados y los caudales simulados (Amat, 2016). De igual manera, el índice de eficiencia cataloga la calibración como muy buena y el valor positivo del Bias indica sobre estimación de caudales simulados.

Se observó que el modelo tiene la misma tendencia a sobreestimar los caudales base y no representa adecuadamente los caudales punta,

como los descritos por Labrador *et al.* (2016) y Castillo (2022). En cuanto al coeficiente de determinación (FIGURA 5) se obtuvo un valor de $R^2=0,64$; este valor muestra que el 64% de los datos el modelo los predice y el 36% son incertidumbres asociados al modelo conceptual, errores en la medición de caudales o sobre estimación de los parámetros del modelo. Sin embargo, el modelo sigue manteniendo una buena representación de la variabilidad estacional de la cuenca (González y Valdés, 2008).

5.1 Salidas del modelo

El modelo muestra la escorrentía promedio mensual en m^3/s (TABLA 5) y la escorrentía total generada en millones de metros cúbicos (Mm^3), A continuación se presentan estos resultados.

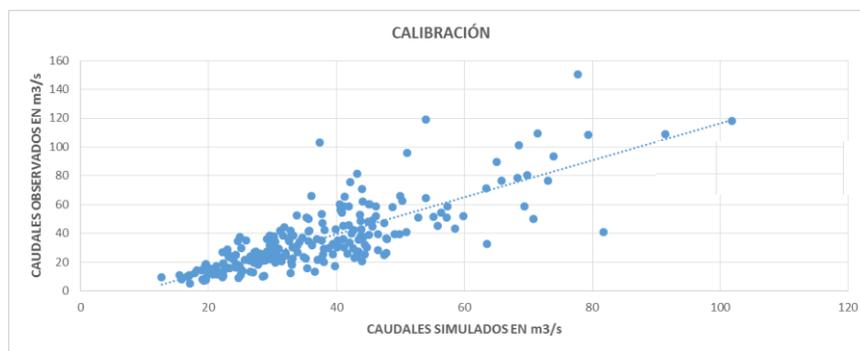


FIGURA 5. Calibración. Correlación entre los caudales observados y simulados para el periodo hidrológico 1942-1960. Fuente: Stockholm Environment Institute (2009).

TABLA 5. Escorrentía observada y simulada en m3/s durante el periodo de calibración

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
QO	27,01	16,64	14,57	23,99	34,53	36,17	30,09	30,69	33,78	46,91	60,74	43,53
QS	29,96	24,79	20,77	33,60	39,13	36,01	30,53	33,66	40,19	46,03	54,59	36,83

En la TABLA 5 se observa que los caudales simulados tienen buena aproximación a los caudales observados. En la FIGURA 6 se muestra la escorrentía total simulada durante el periodo de calibración con un total 3.421,94 millones de metros cúbicos (Mm³).

5.2 Validación del modelo Para la validación del modelo se tomó el 36% de los datos de la serie,

es decir, el período que corresponde a los años 1961-1970. Se realizó la corrida para este período manteniendo los mismos valores de los parámetros de calibración y se procedió a realizar la evaluación a través de las bondades de ajuste que se consideraron para la evaluación de la calibración. En las FIGURAS 6 y 7 se observan los resultados obtenidos para la validación del modelo.

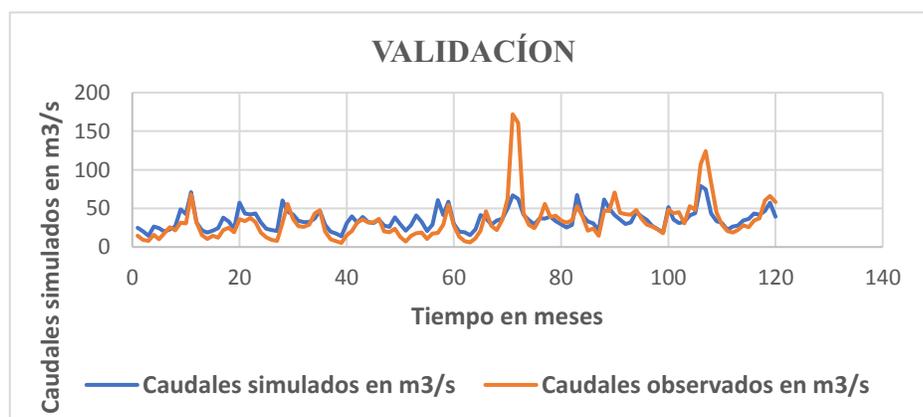


FIGURA 6. Validación. Series de caudales simulados y observados en el punto de cierre de la cuenca del río Motatán. Fuente: Stockholm Environment Institute (2009)

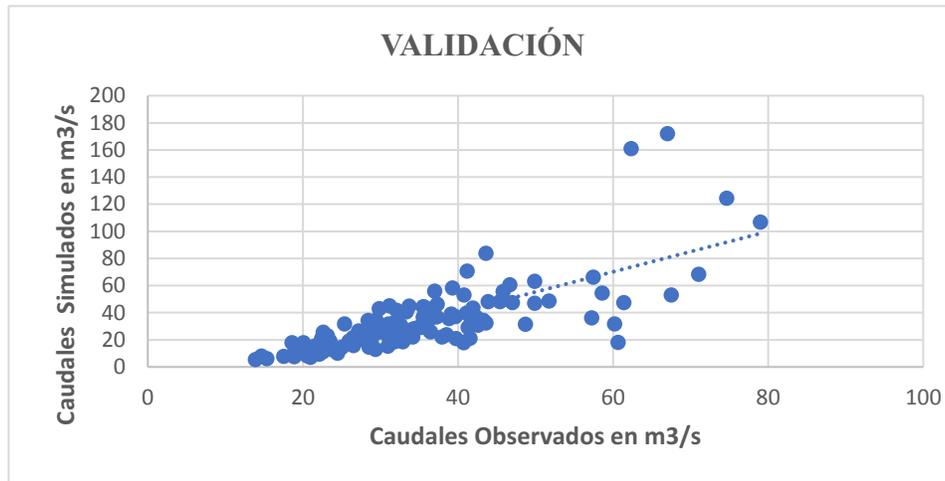


FIGURA 7. Validación. Correlación entre los caudales simulados y observados para el período 1961-1970. Fuente: Stockholm Environment Institute (2009).

La validación se realiza con el objetivo de verificar la calidad de los ajustes de calibración, así como también, la calidad y confiabilidad de la información disponible para la corrida del modelo; para ello se deben usar los parámetros obtenidos en la calibración, pero en un período diferente (Sarria *et al.*, 2008).

Para este periodo la validación del modelo calculó un coeficiente determinístico de $R^2=0,56$. En las FIGURAS 6 y 7 se puede ver como el modelo durante el proceso de validación muestra sobrestimación en los caudales simulados y la poca sensibilidad a los caudales puntas observados.

En este proceso de validación, R^2 es más bajo en comparación al desenvolvimiento del modelo para el proceso de calibración, sin embargo, el modelo conserva una representación de la variabilidad estacional de la cuenca (González y Valdés, 2008).

6. Conclusiones y recomendaciones

El estudio destaca la importancia de las herramientas de simulación hidrológica, como WEAP, para comprender y gestionar eficazmente los recursos hídricos, donde se podría analizar en contexto del cambio climático y desafíos ambientales. Se realizó un análisis de correlación, no experimental para analizar variables como

lluvia, escorrentía y caudal, en la cuenca de Motatán del estado Trujillo, Venezuela.

Se recopiló información cartográfica, climatológica e hidrométrica para calibrar el modelo WEAP. Se realizaron etapas de calibración, validación y análisis de sensibilidad para ajustar los parámetros del modelo.

Se utilizaron indicadores como el coeficiente de correlación y el índice de eficiencia de *Nash-Sutcliffe* para evaluar la precisión del modelo. A pesar de algunas sobreestimaciones iniciales, el modelo WEAP mostró relación lineal y eficiencia en la simulación de caudales, con cierta atención en las puntas de las graficas. Para la correlación cruzada entre pares de regiones hidrohómeas y cada mes, el nivel de rechazo es del 10%, superior al nivel de significancia de la prueba.

Los parámetros agronómicos / hidrológicos ajustados reflejan las características específicas de las subcuencas Carache y Motatán. Se presentaron resultados de escorrentía promedio mensual y total generada, mostrando la capacidad del modelo para representar la variabilidad estacional. Se observaron tendencias similares a investigaciones anteriores, destacando la tendencia del modelo a sobreestimar los caudales base (González y

Valdés, 2008, y Stockholm Environment Institute, 2009).

El análisis detallado del modelo *Water Evaluation and Planning System* (WEAP) en la simulación hidrológica de la cuenca del río Motatán revela resultados alentadores. La elevada correlación lineal de 0,80 y el coeficiente de determinación de 0,64 indican ajuste del modelo a los datos observados, evidenciando su capacidad para capturar con precisión la variabilidad estacional en la cuenca, siendo esto

inferior a los parámetros que indican Amad (2016).

Si bien el modelo presenta un rendimiento significativo al prever el 64% de los datos, es imperativo reconocer el 36% restante, que representa incertidumbres asociadas, las que podrían ser consecuencia de diversos factores, como posibles errores en las mediciones de caudales, sobreestimación de parámetros del modelo o limitaciones inherentes al enfoque conceptual, entre otras.

7. Agradecimientos

El presente artículo es gracias a la colaboración del CIDIAT-ULA por medio de los profesores Ángela Henao, Jesús Mejías y a la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de La Universidad de Los Andes, por medio de la profesora Ada Moreno. También, agradecer al Grupo de Investigaciones GEOKIMÜN de la Universidad Católica de Temuco-Chile.

8. Referencias citadas

AMAT, J. R. 2016. *Correlación lineal y Regresión lineal simple*. *cienciadedatos.net*. Disponible en: https://doi.org/https://www.cienciadedatos.net/documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal.

CASTILLO, A. 2022. *Evaluación de una modelación hidrológica implementada en WEAP como herramienta para el desarrollo de un futuro modelo operacional de la cuenca del río Itata*. Universidad de Concepción. Chile.

CORPOANDES-ESCOSA. 1971. *Estudio hidrológico y edafológico semidetallado planicie aluvial Caús-Pocó. Estado Trujillo*. Venezuela.

GARCÍA, M.; MORALES-PINZÓN, T. y J. GUERRERO. 2014. "Análisis de flujos de agua en áreas metropolitanas desde la perspectiva del metabolismo urbano". *Revista Luna Azul*, (39): 234-249.

GOLDSTEIN, I.; ROJAS, J.; PULIDO, N. y Z. MOLINA. 2012. "Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela. Emergencias territoriales prioritarias en la conservación del agua." *Revista Geográfica Venezolana*, 53(2): 213-238 Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730393003>. [Consulta: noviembre, 2023]

GONZALEZ, J. & J. VALDÉS. 2008. "A regional monthly precipitation simulation model based on an L-moment smoothed statistical regionalization approach". *Journal of Hydrology*, 348(1-2): 27-39. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.059>.

GRASSI, C. 1988. *Fundamentos del riego*. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

HERNANDEZ, R.; FERNANDEZ, C. y P. BAPTISTA. 1996. *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill, México.

- JAIMES, E.; MENDOZA, J.; PINEDA, N. y H. RODRIGUEZ. 2005 "Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del Río Motatán, Trujillo, Venezuela." *INCI [online]*, 30(2): 73-80. Disponible en: <http://ve.scielo.org/scielo>.
- LABRADOR, A.; ZÚÑIGA, J. y J. ROMERO. 2016. "Desarrollo de un modelo para la planificación integral del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica del río Aipe, Huila, Colombia". *Revista Ingeniería y Región*, 15(1): 23-35
- MEJÍAS, J. 2005. *Evaluación integral de la disponibilidad de agua subterránea en la planicie aluvial del río Motatán, estado Trujillo*. CIDIAT. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. Tesis de Grado.
- MOROTE, Á. 2014. "La planificación y gestión de los recursos hídricos en España: aproximación a los principales grupos y líneas de investigación". *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (62): 113-125.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2006. *Evapotranspiración del cultivo Estudio FAO Riego y Drenaje 56*. Roma, Italia.
- PEÑA, J. 2017 *Análisis del potencial del modelo WEAP para la simulación hidrológica, usando como estudio de caso la cuenca del río Motatán en el sitio de presa Agua Viva en el estado Trujillo*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- PILARES, I.; MONTALVO, N.; MEJÍA, A.; E. GUEVARA-PÉREZ; G. FANO M. Y R. ALFARO A. 2018. "Evaluación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Cabanillas del Altiplano peruano bajo escenarios climáticos regionalizados." *Revista Ingeniería UC*, 25(2): 307– 319.
- SARRIA, F. y F. PALAZON. 2008. "Estimación de los parámetros, validación de modelos y análisis de sensibilidad", *Modelización de sistemas ambientales*. Universidad de Murcia. España.
- STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE. 2009. *Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*. Santiago, Boston.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Temuco, La Araucanía, Chile; diciembre, 2023