

Aplicación del SSD AQUATOOL al sistema de recursos hídricos de la cuenca del río Tepalcatepec

Application of the SSD AQUATOOL to the water resources system of the Tepalcatepec river basin

Iván González Arreguín¹, María del Mar Navarro Farfán², Sonia Tatiana Sánchez Quispe³, Julio C. Orantes A.[@]

[@] Autor correspondente: julio.orantes@gmail.com

^{1,2,3,4} Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Múgica s/n, Ciudad Universitaria, C. P. 58030 Morelia, Michoacán, México

¹ivan.g.92.a@hotmail.com

²mar.farfán@hotmail.com

³soniatsq@hotmail.com

RESUMEN: La cuenca del Río Tepalcatepec RH18J se encuentra ubicada en la zona Pacífico Centro de México entre los estados de Jalisco y Michoacán, con una superficie de 11,668 km², pertenece a la Región Hidrológica RH18 del Balsas. Es una de las cuencas más importantes del estado de Michoacán por la gran vocación agrícola de la zona, contando con una superficie de riego de aproximadamente 120 000 ha. La problemática que se presenta es que ante la posible existencia de fenómenos tales como sequías y alteraciones derivadas del cambio climático, por lo que resulta importante la generación de un modelo de gestión hídrica que permita la simulación de la gestión de los recursos hídricos en la cuenca. En este trabajo se propone la creación del modelo de gestión hídrica mediante la herramienta generalizada del Sistema de Soporte a la Decisión AQUATOOL (SSD AQUATOOL). Los resultados muestran, con una muy buena calibración, que el modelo permitirá analizar y gestionar confiablemente los recursos hídricos de la cuenca.

Palabras clave: gestión, recursos hídricos, AQUATOOL

ABSTRACT: *The Tepalcatepec RH18J river basin is located in the Pacific Center of Mexico between the states of Jalisco and Michoacán, with an area of 11,668 km², and belongs to the RH18 Hydrological Region of Balsas. It is one of the most important watersheds in the state of Michoacán due to the largest agricultural area, with an irrigation area of approximately 120,000 ha. Given the more frequent occurrence of phenomena, such as droughts and floods, due to climate changes, it is important to generate a water management model that allows the simulation of water resources management in the basin. This paper proposes the development of the water management model through the AQUATOOL Decision Support System (AQUATOOL SSD). The results show, with a very good accuracy, that the model allows the reliable analysis and management of water resources in the basin.*

Keywords: management, water resources, AQUATOOL.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Río Tepalcatepec RH18J se encuentra ubicada en la zona Pacífico Centro de México entre los estados de Jalisco y Michoacán, con una superficie de 11,668 km², pertenece a la Región Hidrológica RH18 del Balsas, tiene como corriente principal el Río Tepalcatepec, con una longitud de 241 kilómetros, cuenta con 4 presas de almacenamiento. En la Figura 1 se muestra un esquema general de la ubicación de la cuenca en cuestión. La población que alberga esta cuenca es de 500 000 habitantes concentrándose la mayor parte en la cuenca media y baja, con una demanda urbana anual aproximada de 28 hm³ cuenta también con una superficie de riego de 120 000 hectáreas, con un requerimiento de agua anual de 530 hm³. La precipitación media anual de la cuenca es de 864 mm, considerándose un clima semiárido. El objetivo principal de este trabajo es generar un modelo de gestión de los recursos hídricos que permita evaluar el estado actual y futuro de la cuenca desarrollada del Río Tepalcatepec; para prevenir, mitigar y gestionar afectaciones en caso de la existencia de fenómenos meteorológicos como las sequías meteorológicas, hidrológicas y operativas así como los efectos del cambio climático, aunado a esto se pretende un mejor conocimiento de la cuenca y

contar con una base de datos hidrometeorológicos extendida y sin vacíos. El modelo de gestión requiere de modelos como lluvia-escorrentamiento y funcionamiento hidráulico de acuíferos debido a los pocos datos con que se cuenta. Se presenta la aplicación de esta metodología como herramienta necesaria ante la existencia de pocos datos, es el caso de cuencas de países en desarrollo donde el monitoreo es insuficiente, como México. La metodología propuesta es útil para la planificación hidrológica y gestión de recursos hídricos en la cuenca en estudio.

2. METODOLOGÍA

Para poder seleccionar un modelo y las herramientas con las que se trabajará, se deben de tomar en cuenta distintos puntos: la disponibilidad de softwares con los que se cuenta, su compatibilidad y la cantidad y calidad de datos que se tienen. La modelación del recurso superficial de la cuenca se seleccionó la herramienta EVALHID (Evaluación Hidrológica) ya que contiene el modelo de Témez, por otra parte esta herramienta forma parte del Sistema Soporte Decisión (SSD) llamado AQUATOOL [1], que también cuenta con herramientas para la modelación del recurso subterráneo, para la modelación de la gestión (simulación y

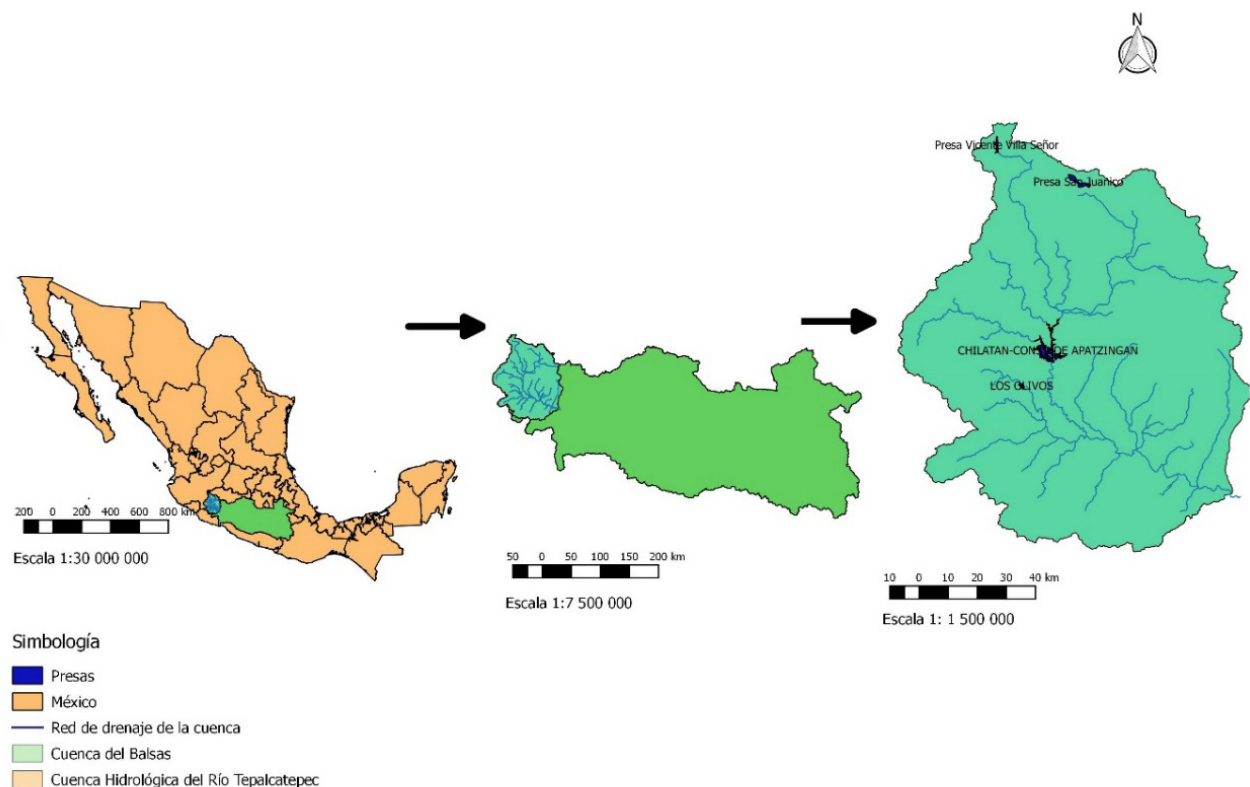


Figura 1. Localización de la cuenca del Río Tepalcatepec.

optimización) y para la modelación del riesgo en la gestión. Este SSD contiene la herramienta AQUIVAL para la modelación subterránea y SIMGES para la Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, que además realiza la modelación conjunta del recurso superficial y subterráneo, al utilizar las herramientas de un mismo SSD se eliminan los problemas de compatibilidad.

A continuación, se presenta una breve reseña de cada uno de los modelos utilizados:

EVALHID: El programa EVALUación de los recursos HÍDRICOS (EVALHID) es un módulo informático para el desarrollo de Modelos Precipitación-Escorrentía (MPE) en cuencas complejas y con el objetivo de evaluar la cantidad de recurso hídrico que producen las mismas.

AQUIVAL: Ayuda al usuario en la modelación por el método de los autovalores [3], facilitando la entrada de datos mediante un entorno gráfico. La principal característica de este modelo de parámetros distribuidos es la eficiencia computacional, que reduce el tiempo y la memoria utilizados. Con ello se puede incluir el modelo de flujo subterráneo en un modelo complejo de gestión y simular muchas alternativas para largos periodos de simulación.

El modelo SIMGES es un modelo general para la Simulación de la Gestión de Cuencas, o sistemas de recursos hidráulicos complejos, en los que se dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y de dispositivos de recarga artificial.

La metodología general consiste en el tratamiento de información tanto hidrológica como meteorológica, realizar la modelación por medio de la herramienta generalizada del SSD AQUATOOL[1] ampliamente usado en cuencas de España y otros países [2], se utiliza el modelo superficial lluvia escorrentía de HBV, con el software EVALHID, posteriormente realizar el modelo subterráneo de los 5 acuíferos presentes en la cuenca (Valle de Juárez, Quitupan, Cotija, Colomos y Apatzingán) con el software AQUIVAL, para dar de entrada al modelo de gestión Hídrica. Para la realización del modelo de gestión, se usa SIMGES consiste en introducir el modelo superficial y subterráneo, establecer tomas y demandas de los elementos presentes en la cuenca (presas, demandas, etc.). Posteriormente se realiza la modelación realizando una calibración de los volúmenes contenidos en la presa históricamente con respecto a los modelados año a año, en la figura 2 se muestra un esquema metodológico el cual describe el proceso realizado para llegar finalmente

a la gestión de recursos hídricos.

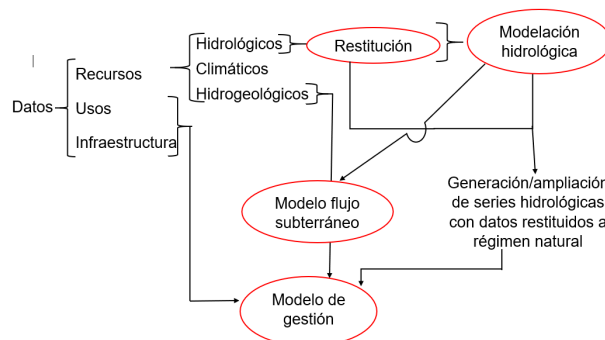


Figura 2. Esquema metodológico del modelo de gestión

3. RESULTADOS

Se ha realizado la modelación del sistema superficial, obteniendo una buena calibración, para este fin la cuenca general se subdividió en 9 sub-cuencas teniendo como base para la subdivisión la existencia de datos hidrométricos para su calibración, en la tabla 1 se muestra un resumen de la calibración mencionada para cada una de las subcuencas y en la figura 3 se muestra un gráfico de la calibración de la cuenca final, solamente se consideró la final ya que esta cuenta con los datos del resto de las cuencas anidadas. Para la estación hidrométrica 18494 que se encuentra al final de la cuenca de estudio se observa la calibración del periodo 1964-1977 y la validación en el periodo 1995-1999, además de observar buenas tendencias en el resto de años que no se tienen datos observados, en la cuenca alta se cuentan con altos valores de los parámetros correspondientes a la infiltración y humedad debido a la presencia de bosques y bajos valores de los coeficientes correspondientes a los parámetros "c" y "α" debido a la ausencia de conexión de los ríos de pendiente alta con el acuífero y en la baja se tiene lo contrario, valores de infiltración y humedad bajos debido a la alta actividad agrícola que se tienen en la zona y "c" y "α" bajos debido a la conexión río acuífero existente en el último tramo del río y su conexión con el acuífero Apatzingán.

Respecto a la parte subterránea que se muestra en el mapa de la figura 4, se pueden observar los acuíferos de la cuenca alta (Valle de Juárez, Quitupan, Cotija y Colomos) los cuales han sido modelado como unicelulares, usando los resultados de la modelación

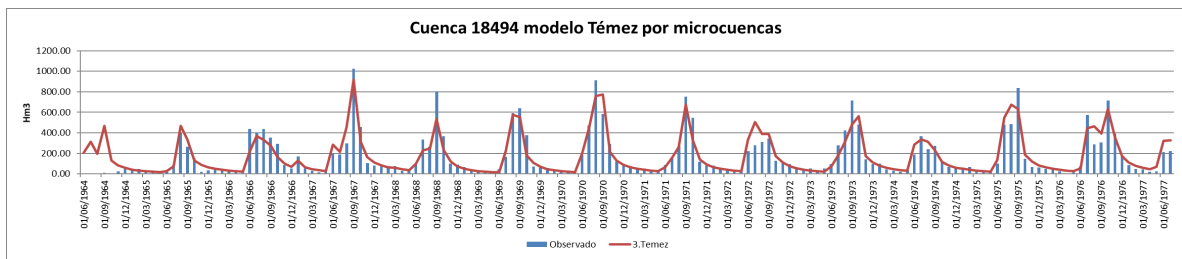


Figura 3. Calibración de la cuenca de salida.

superficial tomando en cuenta únicamente el balance de agua realizado por el modelo de HBV. El acuífero Apatzingán debido a la gran cantidad de acciones presentes (bombeos, conexión río acuífero) se modeló como autovalores [3], calibrando únicamente con el flujo base, haciendo coincidir el flujo base de la época de estiaje obtenido por el modelo superficial con las salidas del acuífero calculado con AQUIVAL (Figura 5). A partir de la modelación hidrológica y del modelo subterráneo, así como con el conocimiento de los usos, demandas y diversas estructuras presentes en la cuenca, se pudo generar el modelo de gestión hídrica pudiendo obtener el funcionamiento de la cuenca, aplicable a estudios referentes a sequías [4], economía del agua [5], manejo y gestión de cuencas [6], etc. En la figura 6 se muestra la calibración gráfica para cada una de las presa.

Tabla 1. Calibración de las subcuencas de Modelación.

Estación	Área (km ²)	NS	In NS	r	SS
18129	158.72	0.644	0.643	0.807	0.998
18280	194.02	0.678	0.639	0.851	0.987
18181	5417.79	0.678	0.64	0.85	0.98
P. San Juanico	79.14	0.379	0.2424	0.623	0.996
P. Los Olivos	79	0.71	0.626	0.842	0.999
18201	427.18	0.669	0.9	0.82	0.999
18202	1682	0.59	0.7	0.786	0.999
18452	247.97	0.71	0.837	0.842	0.999
18494	3817	0.876	0.913	0.937	0.999

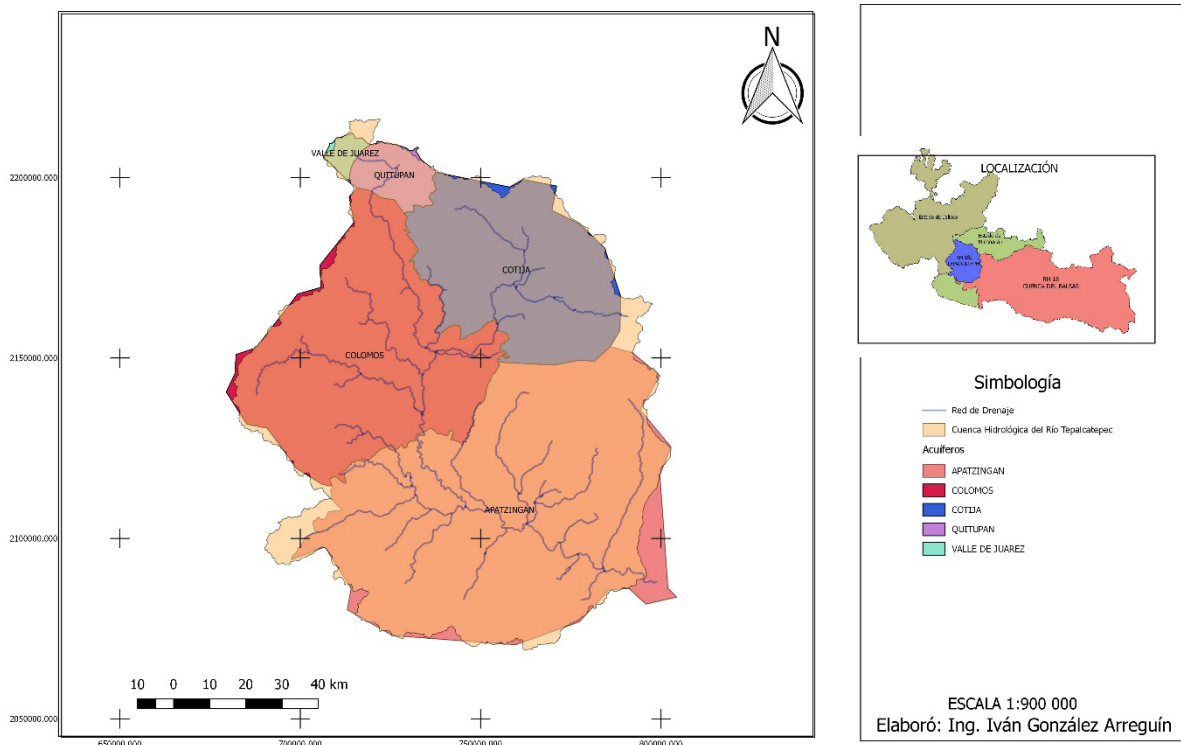


Figura 4. Cuenca del Río Tepalcatepec y los distintos acuíferos que la componen.

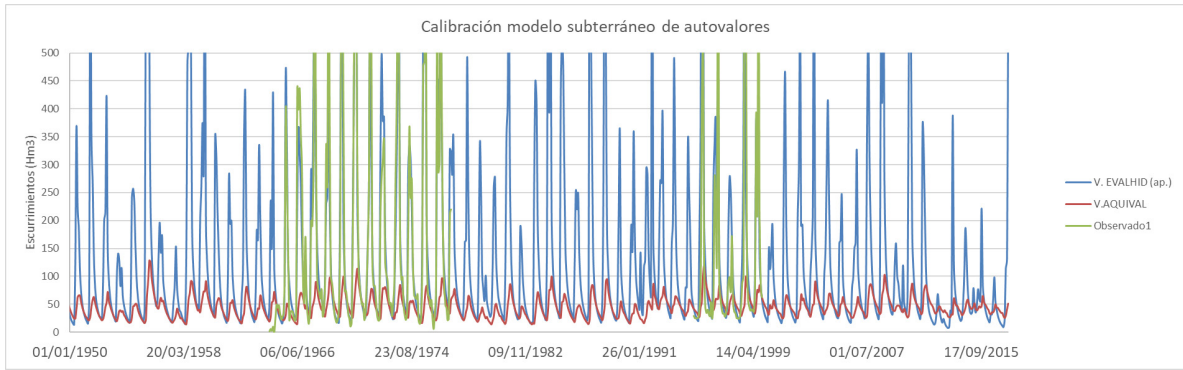
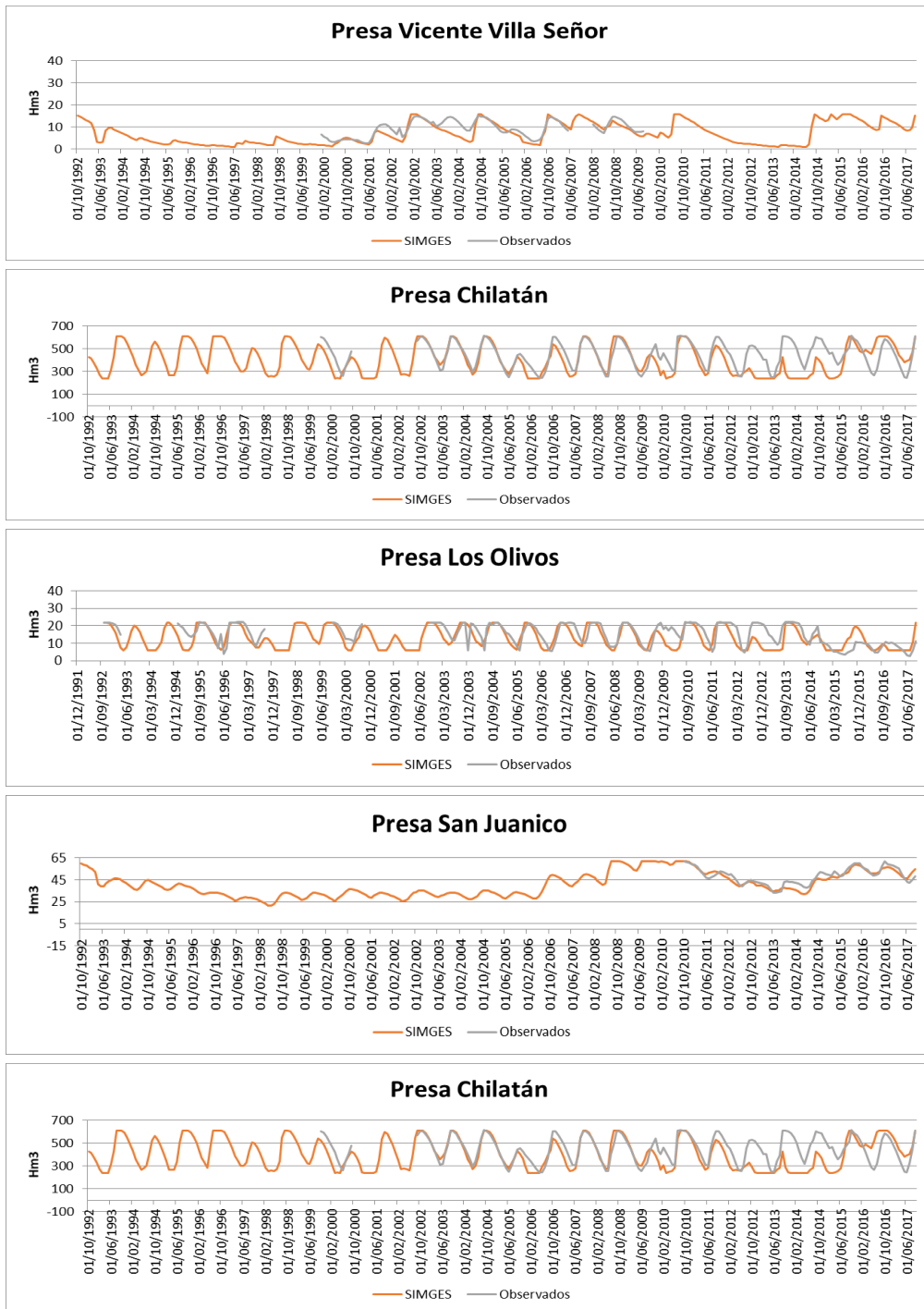


Figura 5. Calibración del modelo subterráneo.



Figuras 6. Calibración del modelo subterráneo en las diferentes cuencas.

CONCLUSIONES

Las distintas calibraciones de los modelos nos muestran la confiabilidad de estos y nos proporcionan confianza de proceder al estudio de sequías en esta cuenca semi-árida, así como la emisión de reglas de operación, ante la ocurrencia de este tipo de fenómenos naturales.

La existencia de este modelo de gestión de recursos hídricos calibrado es un gran avance para los tomadores de decisiones de la cuenca, al contar con resultados confiables, pese a que en México existe carencia de datos aforados como en muchos otros países en desarrollo. Este modelo se tomará como base para la gestión de recursos hídricos de manera anual permitiendo introducir los datos iniciales del estado de la cuenca y revisando y tomando medidas de precaución de manera correcta.

La metodología propuesta es aplicable y replicable en países que se encuentran en esta situación de carencia de datos y la confiabilidad de los resultados dependerá en mayor o menor grado de la calidad de las modelaciones, así como de la cantidad de datos con que se cuente de infraestructura, usos y recursos, estos dos últimos muy importantes en la restitución a régimen natural.

Cabe mencionar que la obtención y manejo de datos en México tiene cierto grado de dificultad debido a que la obtención histórica de estos no ha sido eficiente por parte de los organismos correspondientes, pese a esto, los resultados obtenidos se pueden considerar buenos.

REFERENCIAS

- [1] J. Andreu, J. Capilla, and E. Sanchís, "AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management," *J. Hydrol.*, vol. 177, no. 3–4, pp. 269–291, 1996.
- [2] M. Pedro-Monzonís, J. Ferrer, A. Solera, T. Estrela, and J. Paredes-Arquiola, "Key issues for determining the exploitable water resources in a Mediterranean river basin," *Sci. Total Environ.*, vol. 503–504, pp. 319–328, Jan. 2015.
- [3] A. Sahuquillo, "An eigenvalue numerical technique for solving unsteady linear groundwater models continuously in time," *Water Resour. Res.*, 1983.
- [4] D. Haro, A. Solera, J. Paredes, and J. Andreu, "Methodology for drought risk assessment in within-year regulated reservoir systems. Application to the Orbigo River system (Spain)," *Water Resour. Manag.*, vol. 28, no. 11, pp. 3801–3814, Sep. 2014.
- [5] M. Pedro-Monzonís, P. Jiménez-Fernández, A. Solera, and P. Jiménez-Gavilán, "The use of AQUATOOL DSS applied to the System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEA)," *J. Hydrol.*, vol. 533, pp. 1–14, Feb. 2016.
- [6] D. Haro, A. Solera, M. Pedro-Monzonís, and J. Andreu, "Optimal Management of the Júcar River and Turia River Basins under Uncertain Drought Conditions," *Procedia Eng.*, vol. 89, pp. 1260–1267, Jan. 2014.