



Artículo: COMEII-16016

II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE UNA CUENCA DEL NORTE ÁRIDO DE MÉXICO Y SU RESPUESTA A CAMBIOS AMBIENTALES

Gerardo Esquivel Arriaga^{1*}; María Magdalena Nevarez Favela²; Miguel Agustín Velásquez Valle³; Ignacio Sánchez Cohen¹ y Palmira Bueno Hurtado¹

¹INIFAP. CENID-RASPA. Km. 6.5 margen derecha Canal Sacramento, Zona Industrial. Gómez Palacio, Durango. C.P. 35140. esquivel.gerardo@inifap.gob.mx. (*Autor para correspondencia).

²Universidad Autónoma Chapingo. URUZA. Km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua Bermejillo, Durango, México C.P. 35230

³INIFAP. Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo - Zacatecas km. 342+119 # 9515 Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila. C.P. 25315

Resumen

Se precisa el modelo hidrológico Water Evaluation And Planning System (WEAP) para simular el escurrimiento en una cuenca del norte árido de México. El esquema hidrológico fue elaborado utilizando información cartográfica de tipo vectorial y raster, datos de uso de suelo y vegetación, climatológicos e hidrométricos de la zona de estudio. La eficiencia predictiva del modelo se evaluó mediante los índices de Nash-Sutcliffe, PBIAS and R^2 , obteniéndose valores de 0.81, 12.1 y 0.81, respectivamente. Se generaron escenarios regionalizados futuros de cambio climático mediante el modelo Long Ashton Research Station Weather Generator (LARS-WG), correspondientes a los escenarios del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), A1B y A2, para los años 2020s y 2050s. Se proyecta un incremento promedio anual para la cuenca de un grado centígrado tanto para la temperatura máxima como temperatura mínima en los dos periodos analizados. Referente a la precipitación, se proyecta un incremento del 5 % para el periodo 2020s y del 3 % para el periodo 2050s. Se evaluó la respuesta hidrológica de la cuenca a los escenarios climáticos regionalizados proyectándose un incremento del escurrimiento del 6 % (A1B) y del 0.3 % (A2) considerando los periodos analizados, respecto al gasto promedio histórico de la cuenca. La información generada en este estudio puede ser utilizada para propósitos de ordenación y gestión hidrológica de la cuenca.

Palabras clave adicionales: Escurrimiento, cambio climático, gestión.



Introducción

Entre los múltiples servicios que las cuencas brindan al ser humano se destacan los ambientales, incluyendo los hidrológicos, cuya característica de cantidad y calidad dependen del clima y del estado de conservación en el que se encuentran las cuencas (Duque y Vázquez, 2015). Aunado a lo anterior, en las regiones áridas principalmente, la escasez de agua es un tema de interés que suscita investigaciones enfocadas sobre los diversos aspectos que las caracterizan. La importancia radica que de este recurso depende la intensidad de acumulación de cobertura vegetal en el ecosistema, la cual es la base del funcionamiento del resto de los componentes bióticos, incluyendo el ser humano (Loyer, *et al.*, 1993). En investigación hidrológica ya sea de cuenca o de ecosistema, un tópico importante es la simulación de procesos.

La simulación de procesos es una actividad con la cual el usuario puede obtener conclusiones relativas al comportamiento de un sistema dado por medio del estudio de un modelo cuya relación causa efecto es la misma (o similar) a la del sistema original. Así, la simulación se circunscribe al desarrollo y uso de modelos que describen realísticamente el comportamiento de un sistema (Sánchez, 2005). En la actualidad existen una gran cantidad de modelos que pretenden ofrecer posibles soluciones al problema, sin embargo es trabajo del investigador y/o responsable de la toma de decisiones escoger el que mejor se adapte a sus necesidades y a la disponibilidad de información (Mena, 2009).

A nivel de cuenca, la modelación hidrológica se ha convertido en un componente indispensable de la investigación, manejo y gestión de los recursos hídricos. Los modelos hidrológicos ayudan a entender el pasado y el estado actual de los recursos hídricos de una cuenca, y proveen una vía para explorar las implicaciones resultantes de las decisiones de manejo implementadas o las variaciones climáticas involucradas dentro de dicho territorio geográfico (Johnston y Smakhtin, 2014).

Las variaciones en los patrones climáticos originada en gran medida por la actividad humana en décadas recientes, hace alusión al cambio climático como un acontecimiento inminente, que inquieta y pone a trabajar a expertos; ya que una de las mayores preocupaciones en relación con el cambio climático se refiere a sus posibles efectos en los recursos hídricos (Martínez y Patiño, 2012).

En el presente trabajo, se evalúa el impacto de las variaciones en los patrones de clima sobre el escurrimiento en una cuenca del norte de México, precisando al modelo WEAP (Water Evaluation and Planning System) como una herramienta eficaz en el proceso de modelación hidrológica a escala de cuenca (Adgolign *et al.*, 2016).

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio usó un modelo para simular los procesos hidrológicos en una cuenca de la parte alta del Nazas, pertenecientes a la región hidrológica No. 36 Nazas-Aguanaval ubicada en el centro-noreste del estado de Durango (Figura 1). La cuenca de estudio cuenta con una extensión territorial de 5 013 km², forma parte de la Sierra Madre Occidental, con una precipitación anual que va de 480 a 650 mm, la temperatura promedio máxima anual es de 25.8 °C y la temperatura promedio mínima anual es de 1.9 °C (IMTA, 2009) y un volumen medio anual de escurrimiento natural de 523.56 Mm³ (CONAGUA, 2016a).

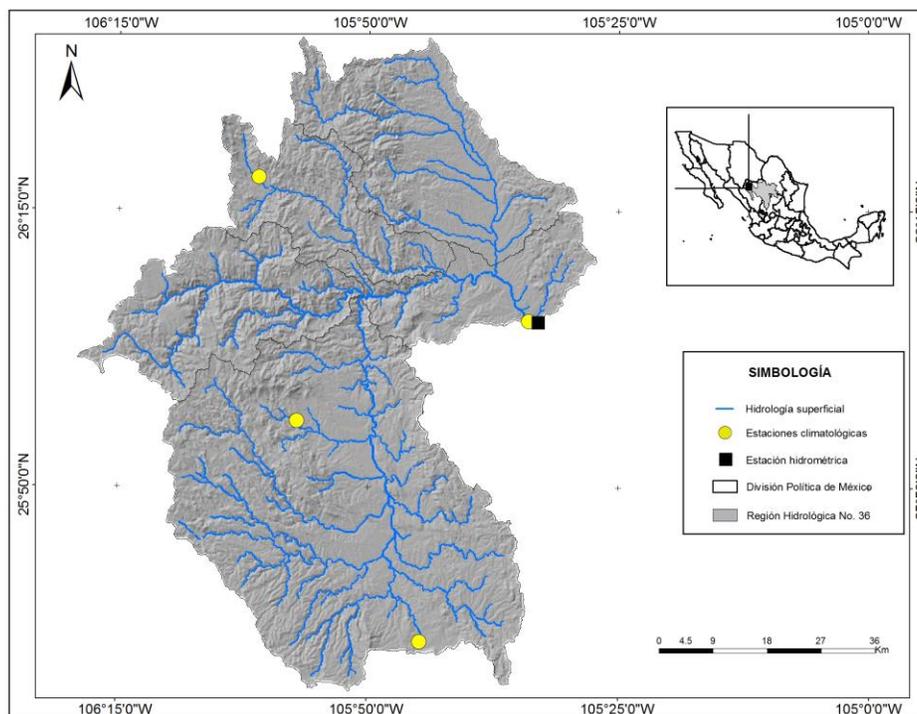


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

Delimitación de la cuenca

Los procesos para la elaboración del esquema hidrológico en WEAP, implica la delimitación de la cuenca y si es posible su limitación a subcuencas. Para este caso se utilizó la información vectorial del simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL) el cual clasifica a la zona de estudio en cinco subcuencas (Cuadro 1) (INEGI, 2016a). Para el caso de la sub cuenca Sextín se hizo una delimitación independiente, debido a que la estación de aforo se encuentra en una zona intermedia, por lo que la superficie total no representaba el escurrimiento real en la zona de estudio. La delimitación se realizó utilizando un modelo digital de elevación con resolución de 15 m (INEGI, 2016b).



Cuadro 1. Características generales de las subcuencas consideradas en el estudio.

Subcuenca	Clave	Perímetro (km)	Área (km ²)	Elevación máx. (m)	Elevación mín. (m)	Pendiente media (%)
El Oro	RH36Cg	276.95	2445.27	3140	1800	28.49
San Esteban	RH36Cf	177.59	716.54	3140	1800	37.83
De Lobos	RH36Ce	166.91	515.11	3260	1700	37.91
Matalotes	RH36Cd	186.84	891.90	2980	1660	34.82
Sextín	RH36Cc	353.15	2553.78	2700	1520	29.48

Información climatológica e hidrométrica

El esquema hidrológico utilizó series de tiempo históricas de temperatura y precipitación. La información fue obtenida de cuatro estaciones climatológicas localizadas en la cuenca (Cuadro 2). Se realizó una análisis de consistencia y homogeneidad de la información y los datos faltantes fueron calculados utilizando un generador climático (Esquivel, 2015). La información hidrométrica ingresada al modelo corresponde a la estación 36071 Sardinias, periodo 1971-2004, obtenida del Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS) (CONAGUA, 2016b).

Cuadro 2. Estaciones climáticas consideradas en el estudio.

Estación climatológica	Clave	Longitud	Latitud	Altitud	Primer dato	Último dato
Cendradillas	10006	-106.017	26.300	2500	01/1961	01/2008
Ciénega de Escobar	10007	-105.746	25.601	2144	04/1965	01/2009
Guanaceví	10029	-105.952	25.933	2300	06/1922	01/2009
Sardinias	10078	-105.566	26.084	1639	05/1970	05/2009

Uso de suelo y vegetación

Se utilizó la Serie III de INEGI escala 1: 250 000 para parametrizar el uso de suelo y vegetación presente en cada subcuenca. La cuenca de estudio se compone de: bosque de coníferas (47.6 %), bosque de encino (26 %), pastizal (16.9 %), vegetación inducida (4.7 %), aprovechamiento agrícola-pecuario-forestal (IAPF) (4.5 %) y suelo desnudo (0.3 %).

Descripción y parametrización de WEAP

WEAP es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. Se considera un modelo ideal para realizar estudios de cambio climático (ej. cambios en la precipitación proyectados) y en la demanda de agua (ej. cambios en la demanda por evaporación de cultivos), etc., los cuales producirán un balance de agua diferente a nivel de cuenca (CCG-UCC, SEI, 2009).



La parametrización del esquema hidrológico en WEAP fue realizada utilizando series de tiempo mensuales para la calibración de la cuenca. Información climática, hidrométrica, de uso de suelo y vegetación y una serie de parámetros calibrados fueron desarrollados a través del modelo en todas las sub cuencas para capturar la variabilidad estacional e inter-anual de las mediciones de flujo a través del modelo (Flores, 2016).

Calibración del modelo

Para medir la eficiencia predictiva del modelo, se utilizaron algunos indicadores de los más frecuentemente usados en modelación hidrológica (Ahmed, 2012) los cuales son enlistados a continuación:

Porcentaje de BIAS (% BIAS) es definido como:

$$\% \text{ BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_{obs_i})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs_i}} \times 100 \quad (1)$$

Se puede concebir como el promedio de los residuales de una fracción del caudal promedio. También es equivalente al error del volumen de flujo acumulado en relación con el volumen observado, normalmente se conoce como error de balance hídrico en la literatura de modelación hidrológica. En general, valores más bajos de % BIAS indican una mejor eficiencia del modelo.

El coeficiente de regresión (R^2) se define como:

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs}) (Q_{sim_i} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2] [\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - \bar{Q}_{sim})^2]}} \right\}^2 \quad (2)$$

Expresa la fortaleza de asociación entre dos variables. $R^2 = 1$ indica una perfecta relación positiva entre dos variables, pero no es un garante automático de una buena simulación ya que es insensible a adiciones y diferencias proporcionales entre el tiempo observado y predicho.

Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (Nash-Sutcliffe Coefficient of Efficiency – NSE) es definido como:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_{obs_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (3)$$

Desde su introducción, ha sido ampliamente utilizado por modeladores hidrológicos. El NSE puede ser considerado como el cociente de la raíz del error cuadrático medio para la varianza de los datos observados, sustraídos de la unidad. El valor de NSE varía de $-\infty$ a 1.0, siendo 1 el valor óptimo. Los valores entre 0 y 1 son generalmente considerados aceptables, mientras que valores < 0 indican que el valor promedio observado es un mejor predictor de los valores simulados, lo que implica que la eficiencia del modelo es inaceptable.

Escenarios de cambio climático

Para obtener los escenarios regionalizados futuros de cambio climático se utilizó el generador climático LARS-WG v4.0. Este generador estocástico crea datos diarios de tiempo de un sitio particular con las mismas características estadísticas de la serie real de la estación (Camargo y García, 2012).

Los escenarios climáticos utilizados fueron creados mediante Modelos Climáticos Regionalizados para México (MCRM) por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y contemplan horizontes de tiempo denotados como 2020s, 2050s, que corresponden a promedios de 30 años (ej. 2010-2039 para 2020s, 2040-2069 para 2050s (Conde y Gay, 2008). Para este estudio se crearon series sintéticas futuras de los escenarios de cambio climático A2 y A1B del IPCC (2000) para los años 2020s y 2050s (Sánchez *et al.*, 2011).

Resultados y discusión

Usualmente, el principal objetivo y por lo tanto la evaluación inicial de cualquier modelo hidrológico es el de predecir el flujo lo más cercano posible a los datos observados. La Figura 2 muestra los datos observados y simulados por el modelo para la cuenca de estudio; la simulación global en el período de calibración (1971-2004) es aceptable e indica la capacidad del modelo para predecir en general la respuesta hidrológica de la cuenca.

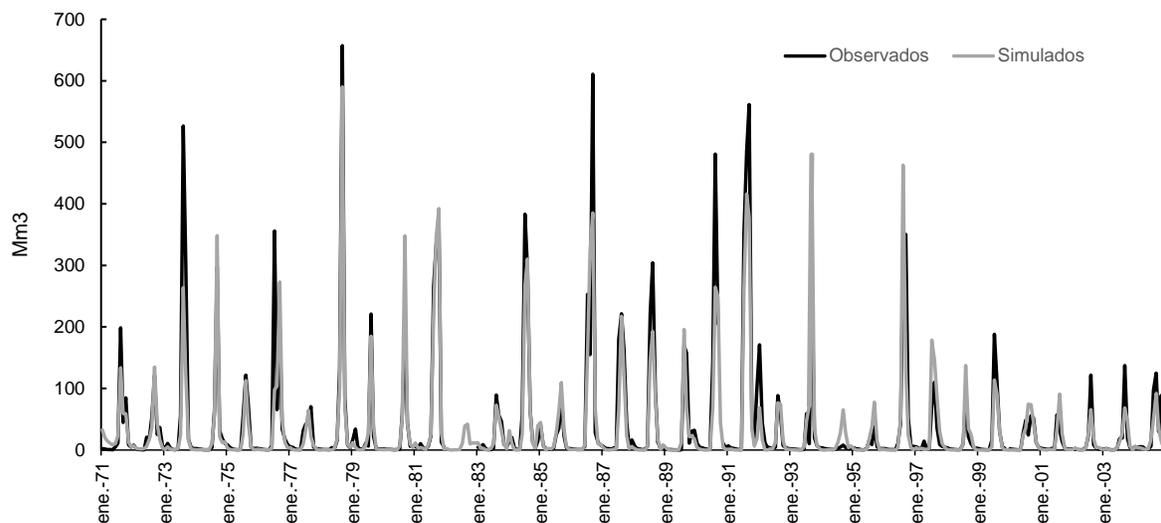


Figura 2. Flujo observado y simulado por el modelo

Se realizó la curva de duración de caudales, la cual es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede ser utilizada para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales en la cuenca analizada (Figura 3).

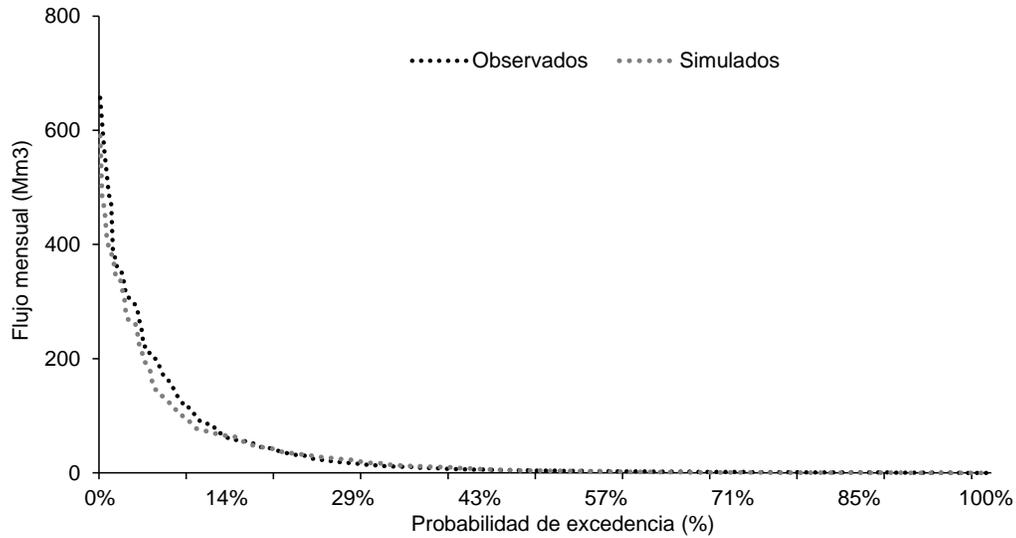


Figura 3. Curva de duración de caudales basada en escurrimientos mensuales

Con base en los índices de eficiencia predictiva establecidos, se obtuvo un valor de Nash-Sutcliffe de 0.81, lo cual con base en Moriasi *et al.*, (2007) se considera muy bueno, para el caso del PBIAS se obtuvo un valor de 12.1 que se considera satisfactorio y finalmente se obtuvo un valor de R^2 de 0.81.

Referente a los escenarios futuros de cambio climático obtenidos, tanto para la variable temperatura máxima (T_{max}) como temperatura mínima (T_{min}) para las cuatro estaciones analizadas se proyectan incrementos que van de 0.6 a 1.3 °C y de 0.7 a 1.6 °C respectivamente; considerando los dos escenarios analizados para el período de los 2020s. En lo que respecta a la precipitación los resultados indican un aumento de 30 a 70 mm en promedio para las estaciones inmersas en la cuenca, salvo para la estación Guanaceví que arrojó disminuciones (3%) respecto al promedio histórico (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estaciones climatológicas analizadas en el periodo proyectado 2020s.

	Escenario	Estaciones climatológicas			
		Cendradillas	Ciénega de escobar	Guanaceví	Sardinas
T_{max} (°C)	Histórico	21.5	22.9	23.2	25.8
	A1B	22.8	23.6	24.3	26.6
	A2	22.7	23.5	24.3	26.6
T_{min} (°C)	Histórico	1.9	6.4	7.2	6.3
	A1B	3.5	7.1	8.0	7.4
	A2	3.5	7.1	8.0	7.4
PP (mm)	Histórico	585	580	650	486
	A1B	618	607	647	555
	A2	605	594	634	549



Para el segundo periodo proyectado (2050s) la Tmax proyecta un incremento que va de 1.5 a 2.1 °C mientras que para la temperatura mínima es de 1.5 a 2.4 °C, considerando los escenarios A2 y A1B. En lo que respecta a la PP los resultados indican un aumento que oscila de 12 a 60 mm en promedio para las estaciones de la cuenca, salvo para la estación Guanaceví que arrojó disminuciones (2.8 %) en su valor promedio respecto al histórico (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estaciones climatológicas analizadas en el periodo proyectado 2020s.

	Escenario	Estaciones climatológicas			
		Cendradillas	Ciénega de escobar	Guanaceví	Sardinas
Tmax (°C)	Histórico	21.5	22.9	23.2	25.8
	A1B	23.6	24.4	25.2	27.5
	A2	23.6	24.4	25.2	27.4
Tmin (°C)	Histórico	1.9	6.4	7.2	6.3
	A1B	4.3	7.9	8.8	8.2
	A2	4.3	7.9	8.8	8.2
PP (mm)	Histórico	585	580	650	486
	A1B	610	599	640	546
	A2	599	592	632	546

Cabe mencionar que tanto las variables Tmax, Tmin y PP, mantienen un comportamiento similar en los dos periodos y en los dos escenarios analizados, respectivamente. Sin embargo, la temperatura mínima anual muestra un rango más amplio que la temperatura máxima anual entre lo observado y lo generado tanto para los años 2020s como para los 2050s, lo que puede sugerir, que la amplitud térmica tenga decrementos de manera general. En términos de cambio climático, hay que considerar que oscilaciones de temperaturas impactan de manera positiva o negativa diversos sistemas y procesos tal como la literatura lo constata (Landa *et al.*, 2008).

Asimismo, la magnitud de los incrementos proyectados en temperatura aumenta entre más lejano sea el plazo, además entre escenarios de emisiones de GEI (Gases Efecto Invernadero), cuanto más emisiones considera el escenario mayor es el incremento de la temperatura (INE, 2009). Para el caso de la precipitación acumulada anual, el ensamble de proyecciones indica que las lluvias disminuirán en gran parte del país hacia mediados y finales del presente siglo (INE, 2009).

La dispersión entre experimentos es muy amplia, reflejo de la gran incertidumbre en las proyecciones de lluvia. Ya que los resultados en este estudio, vislumbran incrementos en el 75 % de las estaciones analizadas, contrario a lo reportado por INE (2009). Por otro lado para evaluar el impacto de los escenarios climáticos en el balance hídrico de la cuenca, la parte climática dentro del esquema hidrológico fue sustituida por las series de datos generadas por LARS-WG para cada una de las estaciones, mientras que los demás parámetros del modelo se mantuvieron constantes (Figura 4).

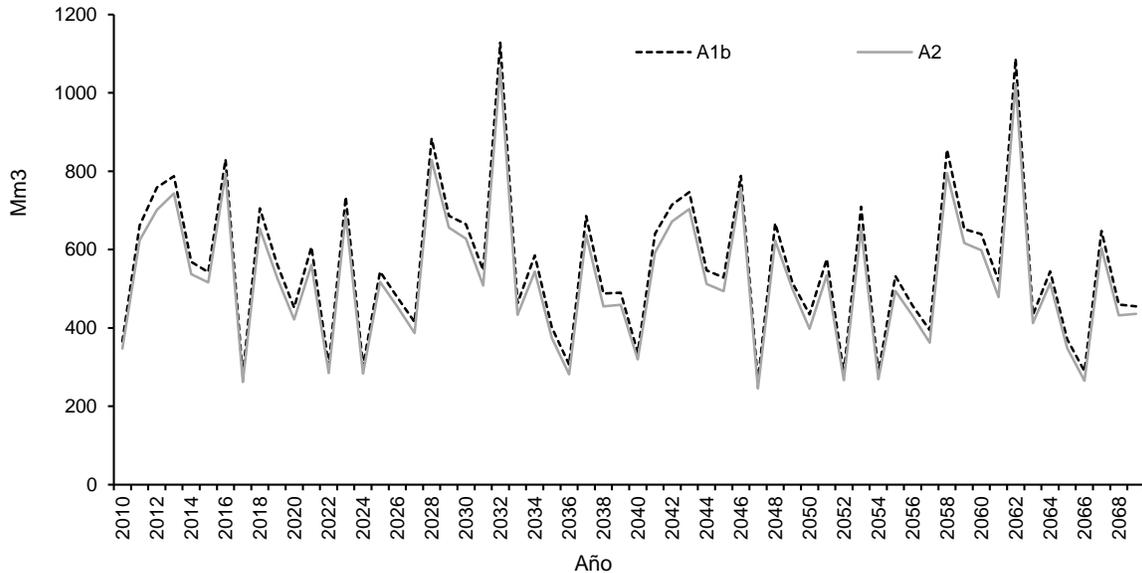


Figura 4. Flujo modelado para los escenarios regionalizados de cambio climático A2 y A1B.

Los resultados indican que para el primer periodo analizado (2020s) el escenario A1B proyecta un incremento en el gasto medio anual de la cuenca del 9.6 %, mientras que para el escenario A2 es del 3 %, lo anterior como efecto del posible aumento en las precipitaciones de las estaciones analizadas. Para el caso de segundo periodo analizado (2050s) el escenario A1B proyecta un incremento del 4.2 % en el gasto promedio anual, sin embargo, el escenario A2 presenta una disminución del 3.3 %, considerando las precipitaciones generadas por el generador climático. Los valores históricos promedio observados para los escurrimientos en la cuenca fueron de 523.5 Mm3, por lo que en términos generales, asumiendo un incremento en la precipitación el modelo predice el incremento en el escurrimiento para los dos escenarios utilizados.

Conclusiones

El modelo WEAP es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo objetivo inicial de creación, fue el de apoyar más que sustituir al planificador experto. En la actualidad, un número creciente de profesionistas para el manejo integral del agua está considerando WEAP como una alternativa más en los procesos de modelación hidrológica. Para el caso de la cuenca analizada, el modelo mostró un buen desempeño al simular y representar la respuesta hidrológica de la cuenca.

Las proyecciones de los escenarios climáticos regionalizados proyectan un aumento en las tres variables analizadas para la mayoría de las estaciones climatológicas de la cuenca, lo que se reflejó en el escurrimiento proyectado para los dos periodos analizados (2020s y 2050s). Se recomienda realizar más



estudios con otros modelos climáticos que permitan realizar comparaciones y determinar las tendencias, para una mejor comprensión y análisis de los riesgos futuros pro efectos de las variaciones climáticas.

Referencias bibliográficas

Adgolign T. B., Srinivasa R. G. V. R. and Abbulu Y. 2016. WEAP modeling of surface water resources allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management* 2:55–70. DOI 10.1007/s40899-015-0041-4.

Ahmed F. 2012. A Hydrologic Model of Kemptville Basin—Calibration and Extended Validation. *Water Resources Management* 26:2583–2604. DOI 10.1007/s11269-012-0034-0.

Camargo, A. y García C., R.O. 2012. Evaluación de dos Modelos de Reducción de Escala en la Generación de Escenarios de Cambio Climático en el Valle de Mexicali en México. *Información Tecnológica*, 23(3), 11-20.

CCG-UCC,SEI (Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute). 2009. Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP- Guía metodológica. Santiago, Boston. Recuperado de http://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf
Fecha de consulta: 28 de julio de 2016.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016a. Sistema de información Geográfica de acuíferos y cuencas. Disponible en: <http://sigagis.conagua.gob.mx/aprovechamientos/>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016b. Banco nacional de datos de aguas superficiales. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>

Conde, A. C., y Gay, C. (2008). Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional. México, D.F: Centro de Ciencias de la Atmosfera. UNAM. Recuperado de http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/Taller_CCA_INE_dic08/Guia_escenarios.pdf Consultado: 16 de junio de 2016.

Duque Y. L. F. y Vázquez Z. R. F. 2015. Modelación de la oferta hídrica en una cuenca de montaña tropical en función de su cobertura del suelo. *Aqua-LAC* - Vol. 7 - N° 1. pp. 63- 76.



- Esquivel A. G., Cerano P. J., Sánchez C. I., López S. A., y Gutiérrez R. O. G. 2015. Validación del modelo ClimGen en la estimación de variables de clima ante escenarios de datos faltantes con fines de modelación de procesos. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4), 117-130.
- Flores L. F., Galaiti S. E., Escobar M. and Pukey D. 2016. Modeling of Andean Páramo Ecosystems' Hydrological Response to Environmental Change. *Water*, 8, 94; doi:10.3390/w8030094
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2009. Extractor Rápido de Información Climatológica v. 3.0 (ERIC III). Base de datos y Software. Jiutepec, Morelos, México.
- INE. 2009. México, Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc4s.pdf> Consultado: 16 de junio 2016.
- INEGI. 2016a. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. Disponible en: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#
- INEGI. 2016b. Continuo de elevaciones Mexicano. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Johnston R. & Smakhtin V. 2014. Hydrological Modeling of Large river Basins: How Much is Enough? *Water Resources Management* 28:2695–2730 DOI 10.1007/s11269-014-0637-8.
- Landa, R., Magaña, V., y Neri, C. (2008). Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. D.F., México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Ciencias de la Atmósfera-Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-968-817-887-4.
- Loyer, J. Y., Estrada, J., Jasso, R., y Moreno, L. (Eds.). (1993). Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso de agua en la Región Hidrológica 36. México: INIFAP CENID-RASPA, ORSTOM.
- Martínez, P. F., y Patiño, C. 2012. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1), 5-20.



- Mena, D. I. 2009. Análisis de impactos del cambio climático en la cuenca andina del río Teno, usando el modelo WEAP. Tesis. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M.W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., y Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50(3):885-900.
- Sánchez C. I. 2005. Fundamentos para el Manejo Integral del Agua. Libro Científico No. 2. Gómez Palacio, Durango, México: INIFAP CENID-RASPA.
- Sánchez C. I., Díaz P. G., Cavazos, M. T., Granados G. R. y Gómez, E. 2011. Elementos para entender el cambio climático y sus impactos. México: INIFAP-CICESE-UNAM IG-UAM.