

Swat quantum gis (qswat) para caracterización de procesos hidrológicos en una cuenca con limitada disponibilidad de datos

Swat quantum gis (qswat) for hydrological processes assessment in a watershed with limited availability of data

Ignacio Sánchez-Cohen^{1*}, Miguel Rivera-Gonzalez¹, Sergio Iván Jimenez-Jimenez¹, Cristo Omar Puente-Valenzuela¹ y Finlandia Barbosa Moreno³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro Regional Noreste. Campo experimental Saltillo. ³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Regional Pacífico Sur. Campo experimental Centro Oaxaca.

*Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Las herramientas de análisis hidrológico de dominio público, han emergido como apoyo a investigadores y tomadores de decisiones cuya fuente proviene esencialmente de dependencias del sector. En esta categoría está el modelo de simulación hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) del Servicio de Investigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América (USDA - ARS). A partir del 2008 el modelo puede residir en la plataforma Quantum Gis (QGIS - QSWAT,) que es un SIG de código libre. En el presente documento se ejemplifica el uso del QSWAT, así como la manera de obtener información para parametrizarlo, en una cuenca hidrológica parcialmente instrumentada en el estado de Oaxaca en México en donde se ha buscado conocer las relaciones funcionales entre el estado de superficie y variables de respuesta hidrológicas. Se determinó que las porciones de área que mayor contribuyen al escurrimiento son la parte agrícola en la sub cuenca del río Cachalapa y de bosque en la sub cuenca del río San Francisco. La calibración del modelo ha arrojado que el modelo QSWAT sobreestima los valores observados de escurrimiento pero manteniendo una relación estrecha entre datos observados y calculados ($R^2 = 0.56$ y 0.68 para las sub cuencas de San Francisco y Cachalapa respectivamente). El modelo ha mostrado ser una plataforma de análisis versátil amigable con el usuario y de fácil parametrización.

Palabras clave: Modelación, hidrología, QSWAT, SIG, cuencas

ABSTRACT

Analytical tools of public domain have emerged as support to researchers, and decision makers whose source comes essentially from government agencies. Within this category lies the SWAT model (Soil and water Assessment Tool) of the Agricultural Research Service from the Agriculture Department of the United States of North America. Beginning 2008 the SWAT model may reside within the public domain QUANTUM GIS. Within this platform the SWAT model is known as QSWAT. In his paper we used the QSWAT model highlighting the process of gathering information for parameterizing it in a watershed partially instrumented in the state of Oaxaca where we have seek for functional relationships between the soil surface condition and hydrological variables. Results have shown that the areas with the highest contribution of runoff is from agriculture in the sub watershed of Cachalapa's River and from forest in the San Francisco's river sub watershed. Calibration of the model has shown that QSWAT overestimates the flows but maintaining a

close relation with observed data flows ($R^2 = 0.56$ y 0.68 for the sub watersheds of rivers San Francisco and Cachalapa respectively). The model have demonstrated being a friendly and versatile platform and of easy parametrization.

Key words: Modeling, Hydrology, QSWAT, SIG, Watersheds

INTRODUCCIÓN

Si se reconoce que la cuenca hidrológica es la unidad básica para la planeación de cualquier proceso productivo, entonces se reconocerá también la importancia de su adecuado manejo y caracterización (Sánchez 2005). Comúnmente, el aprovechamiento hidrológico en cuencas se refiere a la captación de agua de lluvia, misma que implica el uso de prácticas de manejo del suelo y vegetación que protejan la calidad del agua y promuevan su conservación sin deteriorar el suelo. (Barbosa et al. 2011).

Considerando a la cuenca hidrológica como unidad base de la planeación de las cadenas productivas, es necesario caracterizar el aspecto hidrológico de la cuenca. Este proceso comúnmente se realiza mediante un sistema de información geográfica para considerar la distribución espacial de las propiedades físicas – bióticas que definen el comportamiento hidrológico del sitio de estudio. En esta tesitura, es necesario considerar que la variabilidad espacial de propiedades físicas, así como del clima en cuencas hidrológicas, es considerable y por lo tanto, su observación es función del objetivo buscado en los estudios (Sanchez et al. 2015).

De manera general, un modelo hidrológico representa el movimiento del agua mismo que empieza con la precipitación pluvial: de aquí, el agua toma diversas rutas mediante la evaporación, el escurrimiento superficial y subterráneo, o se puede infiltrar hasta alcanzar los mantos acuíferos (EPA, 2018). En la literatura existen una gran cantidad de modelos de simulación de procesos hidrológicos; sin embargo, la elección del modelo depende del objetivo del estudio, la escala la información disponible y la precisión deseada, (Cunderlik

2003, Surfleet et al. 2012, Sanchez 2005, Caldwell et al. 2015).

La herramienta esencial para el uso de modelos hidrológicos de parámetros distribuidos son los Sistemas de Información Geográfica o SIG (Vieux 2001). Sin embargo, hasta recientemente, el acceso a cualquier SIG era oneroso lo que limitaba la aplicación y uso de los modelos de parámetros distribuidos en cuencas hidrológicas. Tal es el caso del modelo Soil and Water Assessment Tool (Herramienta para el análisis de Suelo y Agua, SWAT por sus siglas en ingles), de amplio uso en estudio hidrológicos. A partir del 2016 se desarrolló una interface de éste modelo en una plataforma de dominio público llamada Quantum Gis o QGIS, a la que se le denominó QSWAT (Dile et al. 2016).

La parametrización de modelos hidrológicos en plataformas de SIG es el paso más tortuoso en el contexto de la simulación de procesos. Sin embargo, existe una gran cantidad de fuentes de información digital de calidad, variadas y de dominio público. En términos de hidrología de cuencas, para México, una aplicación bastante útil es el Simulador de Flujos del INEGI (http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siat/l/#) para obtener información variada en formatos SHAPE para su uso en los SIG.

La obtención de información climática y su ordenamiento para usarla en modelos de simulación hidrológica, es quizá la principal vicisitud que enfrentan los usuarios de los modelos, investigadores, académicos etc. Así, a partir del 2006 dos institutos de la Universidad de las Naciones Unidas (UN), el International Institute for Software Technology (UNU - IIST) y el Institute for Water Environment (UNU – INWEH) en conjunción con el Proyecto SWAT del Departamento de Agricultura a través del Servicio de Investigación, de los Estados Unidos

de Norte América (USDA – ARS), liberaron la plataforma denominada WATERBASE que es una base de datos digital cuyo propósito es

avanzar en la práctica del manejo integrado del recurso agua (IWRM por sus siglas en inglés) en países en vías de desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca de estudio se ubica en la Región Hidrológica prioritaria número 20 “Costa Chica-Rio Verde” en la cuenca del Río Colotepec y subcuenca San Francisco; se compone de tres lagunas costeras: La Pastoría, Chacahua y Las Salinas o Tianguisto unidas por el canal del Corral; los ríos que desembocan en las lagunas son el Chacalapa, el San Francisco y Zapotalito, y los arroyos el Carrizo y el Gallinero (Arriaga et al. 2002). El clima predominante es el cálido

subhúmedo con lluvias en verano de precipitación promedio anual de 2719 a 3737 mm y una temperatura diaria de 16-35° C. El relieve del Sistema Lagunar comprende dos topoformas la llanura aluvial y dos depresiones que son las lagunas y los depósitos de olas y corrientes marinas; éste complejo morfológico es de composición granítica. Las condiciones climáticas y de relieve permiten el desarrollo de la Selva Alta Subperennifolia, Pastizal, Dunas, Manglar y Selva Baja Caducifolia.

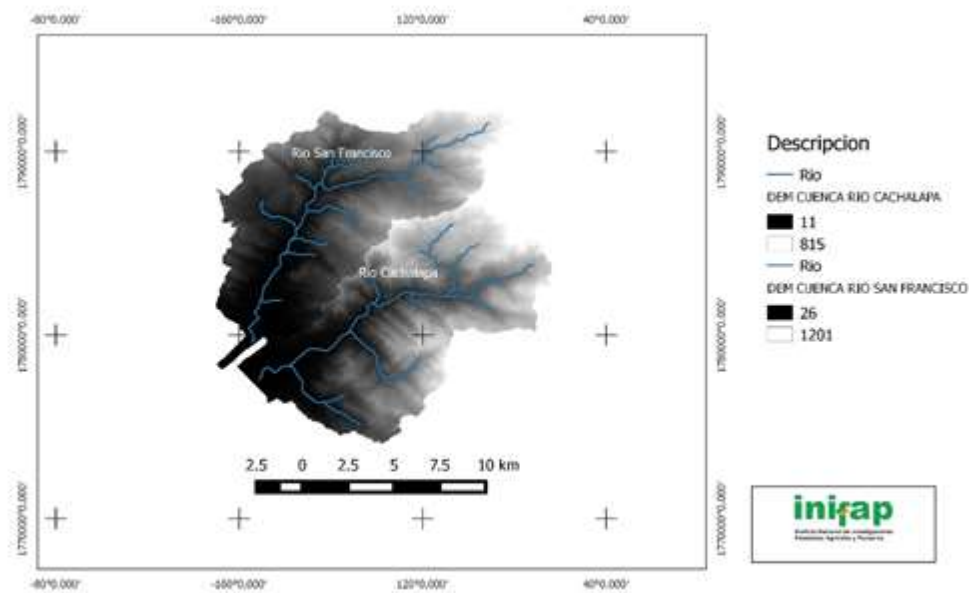


Figura 1. División de la cuenca de estudio en dos sub cuencas: Río San Francisco y Río Cachalapa, para la modelación hidrológica

Fuente de información en Quantum Gis. Para el análisis hidrológico de la cuenca se utilizó el modelo SWAT en su plataforma Quantum Gis (QGIS).

La fortaleza primordial del modelo SWAT es el balance hidrológico. Este balance se cuantifica mediante:

$$SWt = SW0 + \sum_{i=1}^t (Ri - Qi - Ea - Ws - Qr)$$

1 (Neitsch et al. 2005)

Donde SWt es el contenido final de agua en el suelo (mm), SW0 es el contenido inicial de agua en el suelo en el día "i" (mm), t es el tiempo en días, Ri es la cantidad de precipitación en el día "i" (mm), Qi es el escurrimiento superficial, Ea es la evapotranspiración en el día "i" (mm), Ws es la cantidad de agua que entra a la zona vadosa del suelo en el día "i" (mm) y Qr es el flujo de retorno en el día "i" (mm).

En el modelo el escurrimiento (Qi) se calcula de manera separada por cada Unidad de Respuesta Homogénea (HRU) para posteriormente transitar el flujo para obtener el

$$Q = \frac{(R_i - 0.2S)^2}{R_i + 0.8S} \quad 2$$

Donde:

Q = escurrimiento medio por evento (mm).

Ri = precipitación por evento (mm).

S = retención máxima potencial (mm).

De la ecuación 2, $Q > 0$ cuando $P > 0.2 S$, de lo contrario $Q = 0$.

La retención máxima potencial se obtiene como:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad 3$$

En la cuenca de estudio se detectan dos ríos principales: El San Fernando y el Cachalapa. De aquí que para la modelación del proceso de escurrimiento se dividió la totalidad de la cuenca en dos sub cuencas como lo señala la Figura 1. Para cada sub cuenca se contó con una estación de aforo. La reducción en la dimensión de la cuenca original obedece al hecho de que el modelo toma como punto de partida para la definición de las cuencas, la ubicación de las estaciones de aforo misma que fueron instaladas en los puntos de convergencia de la red de drenaje aguas abajo de la cuenca. En cotas inferiores se ubica la agricultura en planicies previo al complejo lagunar.

Información del estado de superficie. Los mapas base (Uso del suelo, tipos de suelo, el modelo digital de elevación) se obtuvieron del INEGI a una escala de 1:50000. Las categorías del uso del suelo del INEGI fueron homologadas

escurrimiento total. Este proceso además de incrementar la precisión arroja una mejor descripción física del balance de agua y permite detectar o cuantificar la sensibilidad de cada HRU para producir escurrimiento.

El procedimiento para calcular Qi se fundamenta en el método de la curva numérica (CN) del USDA (1972). En este método la CN varía de manera no lineal con el contenido de humedad del suelo siendo bajo con valores de humeado del suelo cercanos al punto de marchitez permanente y alto (100) con valores cercanos a saturación.

a las categorías generales del modelo SWAT. Para la definición del tipo de suelo se verificó con un muestreo de campo en sitios representativos de los diferentes estados de superficie.

Datos de clima. El modelo SWAT considera a la precipitación pluvial de dos maneras: una es con datos observados para verificar y calibrar el modelo y otra con datos generados para los procesos de análisis de diferentes escenarios. La generación de series de tiempo de precipitación se ha descrito en diversas publicaciones; por ejemplo véase Sanchez et al. (1997), Sanchez et al. (2014) (a,b). Con la finalidad de verificar la aplicabilidad del modelo para el presente caso se hizo uso de la precipitación observada en un periodo muy corto de tiempo: del 5 de agosto al 28 de diciembre del 2017. Esto dado que la información disponible de otras estaciones climáticas en la región de

estudio, se encuentran fuera de la cuenca de interés por lo que, al hacer uso de esa información, repercutió en una sobre estimación de los escurrimientos. Esto se pudo detectar mediante la plataforma WATERBASE disponible para uso en el modelo SWAT (George y Leon, 2007). La plataforma está disponible en <https://globalweather.tamu.edu/>. La plataforma también ofrece un programa computacional para dar formato a los datos requeridos por el QSWAT y proveídos por la interface WATERBASE. El programa se denomina pcpSTAT.

RESULTADOS

Como ya se ha anotado, el periodo de observaciones de flujos en los ríos San Francisco y Cachalapa es de solo 147 días iniciando el 5 de agosto y hasta el 28 de diciembre. No existen otros registros de aforo para esos ríos. La Figura 2 muestra el aforo registrado para ambos ríos notándose una gran similitud en el tiempo, a excepción del periodo comprendido entre el 15 de septiembre y el 15 de octubre (días julianos 267 – 297) en donde la respuesta del río San Francisco fue notablemente mayor. Este periodo corresponde a los flujos de mayores magnitudes en ambos ríos y ocurren inmediatamente después de un periodo lluvioso de varios días en el que ocurrieron 484 mm de lluvia.

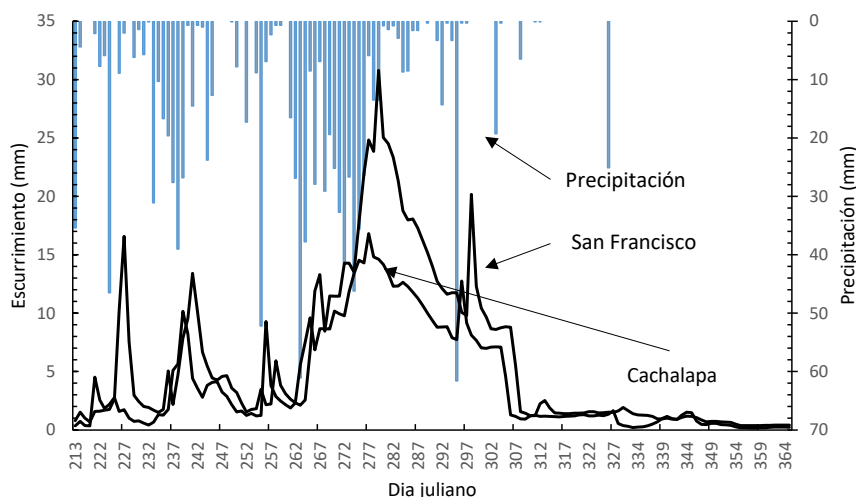


Figura 2. Escurrimiento observado en las estaciones de aforo de los ríos San Francisco y Cachalapa

Aunque el escurrimiento observado en ambas sub cuencas es muy similar, los HRU que contribuyen al escurrimiento son distintos dadas las diversas categorías de uso y tipo del suelo (Figura 3). La proporción de las sub cuencas que contribuyen con más escurrimiento es poca indicando la capacidad de los HRU para producir escurrimiento acorde a sus características físicas

del estado de superficie. Acorde a los resultados, en la sub cuenca Cachalapa la mayor parte del escurrimiento lo producen las áreas dedicadas a la agricultura de temporal lo que indica el mal manejo de las superficies que también, acorde al modelo QSWAT, son las que potencialmente producirían más erosión

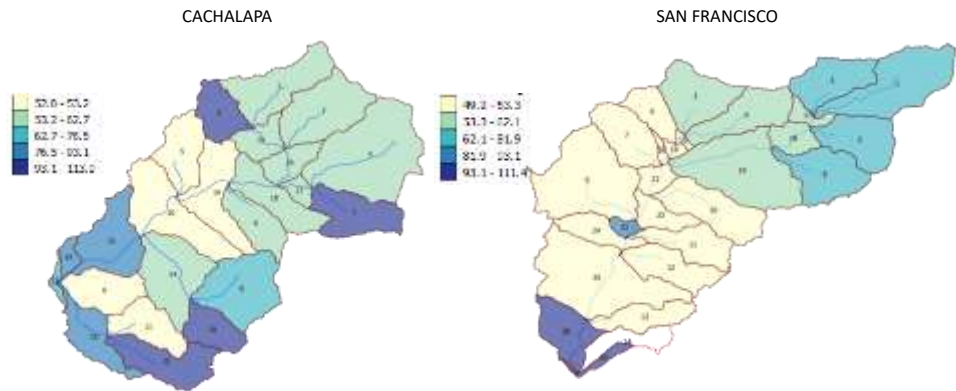


Figura 3. Unidades de Respuesta Homogénea con mayores contribuciones al escurrimiento (promedio mensual, mm) para ambas sub cuencas.

Calibración del modelo. Las gráficas 4 a 7 presentan los resultados tras ajustar el parámetro de Curva Numérica (CN) al 50% de su valor original en las Unidades de Repuesta Homogénea (HRU) que más contribuyen al escurrimiento para minimizar las diferencias

entre lo observado y lo simulado (Meizhao et al. 2014). Así, para la sub cuenca del río Cachalapa el valor de CN del área agricultura de temporal paso de 83 a 42 y para el río San Francisco el valor de CN para la porción de bosque paso de 79 a 40.

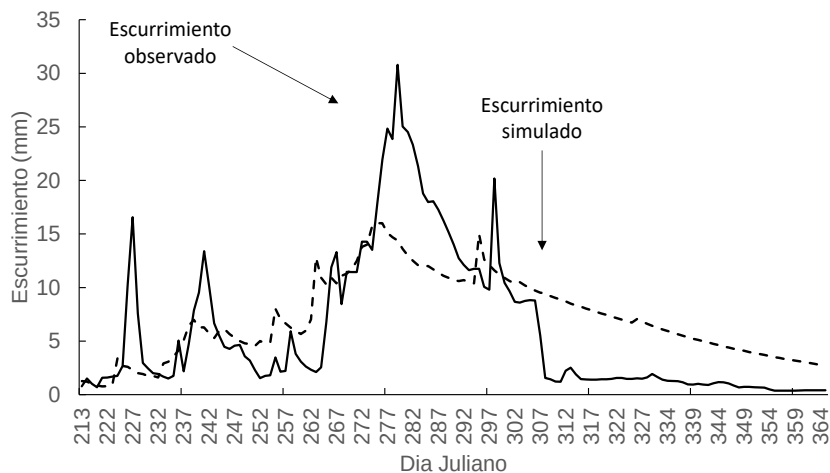


Figura 4. Esgurrimiento observado y simulado para la cuenca del río San Francisco

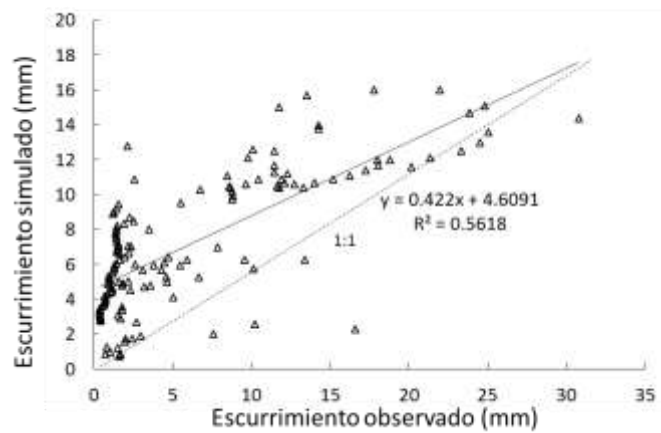


Figura 5. Correlación entre el esguerrimiento observado y el simulado en la cuenca del río San Francisco presentando la relación 1:1.

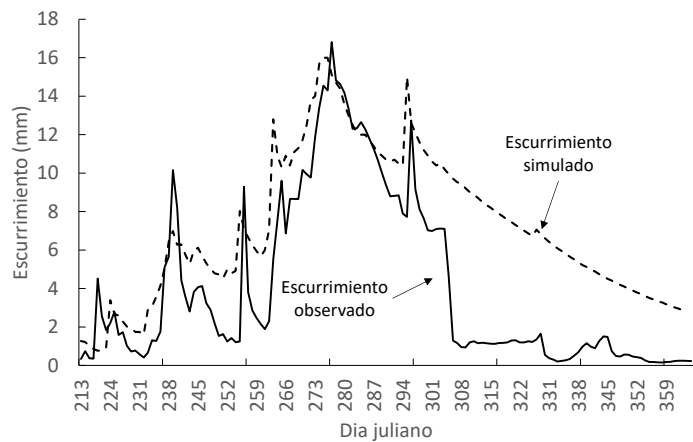


Figura 6. Esguerrimiento observado y simulado para la cuenca del río Cachalapa

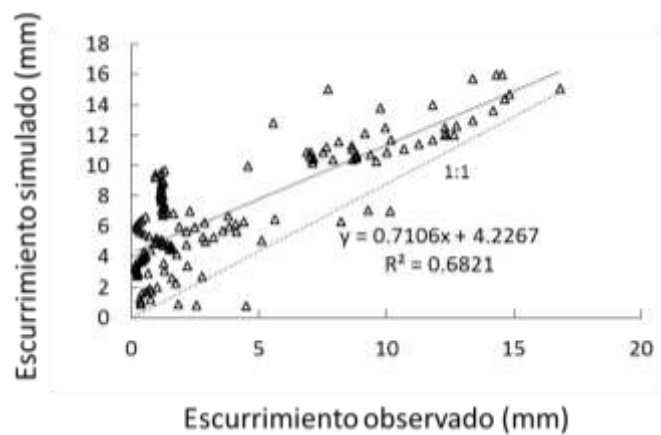


Figura 7. Correlación entre el esguerrimiento observado y el simulado en la cuenca del río Cachalapa presentando la relación 1:1.

La correlación más estrecha entre los flujos observados y simulados se encontró para el río Cachalapa ($R^2 = 0.68$); es pertinente anotar que debido a la corta disponibilidad de datos de aforo la calibración del modelo no se pudo lograr de manera fehaciente; sin embargo, se logró la evaluación del modelo bajo estas circunstancias. En este sentido es preferible parametrizar el modelo dentro de un rango de incertidumbre “valido” o “realista” en lugar de parametrizar el modelo con información fuera de la realidad (Arnold et al. 2012). De las Figuras 5 y 7 se puede observar que el modelo tiende a sobre estimar los valores del escurrimiento cuando se comparan con la línea 1:1 que indica el perfecto ajuste. Esta situación es más notoria para la sub cuenca del río Cachalapa (Figura 7) en donde la mayoría de los datos se separan por encima de la línea 1:1. Sin embargo, para esta sub cuenca

se observa mayor similitud entre los datos observados y simulados como se aprecia en la Figura 6. Como se ha mencionado, estos resultados deben de tomarse con precaución debido a la corta disponibilidad de datos observados; pero sirven para tener una apreciación objetiva del comportamiento hidrológico de la cuenca en general y de lo que pudiera esperarse en el mediano y largo plazo.

Eficiencia del modelo. Los criterios de eficiencia para valorar a un modelo de simulación son varios entre los que destacan el coeficiente de determinación, el índice de Nash – Sutcliffe, índice de congruencia, desviación “P” (P bias) etc. (Sánchez et al. 2014). Para modelos hidrológicos se recomienda el índice de Nash – Sutcliffe (Nash y Sutcliffe 1970). Este índice (N) se obtiene como:

$$N = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad 2$$

Donde O_i es cada una de las “i” observaciones, P_i es cada uno de los “i” datos simulados, $\bar{O}$ es la media de los datos observados y “n” es el número de los datos observados.

El rango de eficiencia de éste índice varía desde $-\infty$ a 1 correspondiendo el valor de 1 a un perfecto ajuste entre los datos de flujo observados y los calculados (Moriassi et al. 2007). Cuando $N = 0$ indica que las predicciones del modelo son tan precisas como el valor promedio de los datos observados; por otro lado, si $N < 0$ significa que es mejor utilizar el valor promedio como predictor en vez de usar el modelo. Esto ocurre cuando la varianza de los residuales (numerador de la ecuación 2) es mayor que la varianza de los datos

(denominador de la ecuación 2). Para la sub cuenca de San Francisco se obtuvo un valor de $N = 0.5$ indicando un comportamiento satisfactorio del modelo. Por otro lado, para la sub cuenca de Cachalapa se obtuvo un valor $N = 0.7$ lo que evalúa al modelo como muy bueno. Estos valores del índice de Nash – Sutcliffe son satisfactorios si se considera la cantidad limitada de información para el proceso de calibración del QSWAT en las sub cuencas de estudio y sobretodo la escala de los datos, (Coffey et al. 2004).

Conclusión

Se pudo evaluar el comportamiento hidrológico de las sub cuencas de los ríos San Francisco y Cachalapa que vierten al complejo Lagunar aguas debajo de la cuenca. La caracterización previa del área de estudio ha sido crucial para el proceso de calibración del modelo de simulación QSWAT en la plataforma Quantum Gis. Este modelo ha mostrado algunas mejoras con respecto a la plataforma tradicional del modelo

SWAT. Por principio, es una plataforma de dominio público lo que permite prescindir de sistemas de información geográficos de alto costo. Por otro lado, la interface con el usuario el modelo es amigable y permite utilizarla sin un conocimiento profundo previo. Se logró determinar aquellas áreas de respuesta homogénea (HRU) que propician el mayor escurrimiento lo que se ha vinculado al uso del suelo. Para la sub - cuenca Cachalapa el modelo



arroja que la porción del área de la sub cuenca dedicada a la agricultura de temporal es la principal contribuyente al proceso escurrimiento. Para la sub cuenca del río San Francisco, la porción de bosque en la parte alta de la cuenca es la que propicia el mayor escurrimiento. Sin embargo, en el proceso de calibración del modelo se modificó el parámetro de curva numérica (CN) que describe la potencialidad de los suelos para producir escurrimiento dado que el modelo arrojó datos elevados de esta variable habiendo notables discrepancias entre los flujos observados y simulados.

Aunque estas porciones de ambas sub cuencas ocupan un pequeño porcentaje del área total de la cuenca, su influencia en el escurrimiento total es de magnitud por lo que, si se requiriera de alguna intervención tecnológica, es ahí a donde se deberían dirigir los esfuerzos de restauración o recomendación de prácticas de manejo.

La literatura en el área de modelación hidrológica menciona la dificultad para la calibración de modelos de simulación con bases de datos limitadas; sin embargo, como lo han demostrado recientemente algunos autores, los parámetros de evaluación de modelos con diferentes longitudes de datos están correlacionados y más aún, se busca realizar las calibraciones de los modelos con un subconjunto de datos representativos más que con toda la base de datos (Razavi y Tolson, 2013); esto es computacionalmente eficiente y logísticamente sencillo.

LITERATURA CITADA

- Arnold JG, Moriasi DN, Gassman PW, Abbaspour KC, White MJ R Srinivasan, C Santhi, RD Harmel, van Griensven A, Van Liew MW, Kannan N, Jha MK (2012) SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. Transactions of the ASABE. 55(4): 1491-1508. doi: 10.13031/2013.42256.
- Arriaga L., Aguilar V, Alcocer J (2002) Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México (CONABIO). Cartografía digital disponible en: www.conabio.gob.mx
- Barbosa Moreno F, Gómez Cárdenas M, Sánchez Cohen I, Ariza Flores R, Díaz Padilla G, Orozco Cirilo S, Contreras Hinojosa J, Guajardo Panes R. (2011) Principales obras de recarga de acuíferos. Folleto Técnico No. 23 INIFAP CIRPAS. Etla Oaxaca. 93 pp.
- Caldwell Peter V, Jonathan Kennen G, Sun G, Kiang JE, Butcher JB, Michele CE, Lauren EH, Jacob H - LaFontaine, Ernie FH, Stacy AC, Steve G - McNulty (2015) A comparison of hydrologic models for ecological flows and water availability. Ecohydrology. Vol 8, No. 8. Wiley Online Library. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/eco.1602>. Última vez visitada Julio 3 2018.
- Coffey ME, Workman SR, Taraba JL, Fogle AW (2004) Statistical procedures for evaluating daily and monthly hydrologic model predictions. Transactions of the ASAE. Vol. 47(1): 59-68. doi: 10.13031/2013.15870.
- Cunderlik J (2003) Hydrologic Model Selection for the CFCAS Project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Condition. Report No. 046. Available En: <https://www.eng.uwo.ca/research/iclr/fids/publications/products/Report%2012.pdf>. Última vez visitada Julio 10 2018.

- Dile Yihun T, Daggupati P, George C, Srinivasan R, Arnold J (2016) Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model. *Environmental Modelling & Software*. Elsevier Vol 85. 129 - 138
- EPA (2018) Watershed Academy Web. Distance Learning Modules on Watershed Management. Disponible en: <http://www.epa.gov/watertrain>. Ultima vez visitada 10 julio 2018.
- George C, Leon LF (2013) WaterBase: SWAT in an open source GIS. *The Open Hydrology Journal*. 1, 19-24
- Meizhao L, Tiesong H, Li D, Meixia L (2014) Daily Streamflow Simulation in a Small-Scale Farmland Catchment Using Modified SWAT Model. *Transactions of the ASABE*. 53(5): 1569-1584. (doi: 10.13031/2013.34901).
- Moriasi DN, Arnold JG, Van - Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL (2007) Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*. 50 (3). 885–900.
- Nash JE, Sutcliffe JV (1970) River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles". *Journal of Hydrology*. 10 (3): 282 – 290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2005) Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Version 2005. USDA ARS. 494 pp.
- Razavi S, Tolson BA (2013) An efficient framework for hydrologic model calibration on long data periods. *Water Resources Research*. Vol 49, No.12. 8418-8431
- Sánchez Cohen I (2005) Fundamentos para el manejo integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. Libro científico No. 2 INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio Durango, México. 272 pp.
- Sanchez Cohen I, Bueno Hurtado P, Esquivel Arriaga G, Velásquez Valle MA (2014) (a). Simulación de Procesos Hidrológicos en Cuencas Poco Instrumentadas. Folleto Técnico No. 35. INIFAP - CENID RASPA. México, Durango. 102 pp.
- Sánchez Cohen I, Velásquez Valle MA, Esquivel Arriaga G, BuenoHurtado P, Pedroza Sandoval A (2015) Minimum hydrologic characterization for research in experimental watersheds with limited availability of information in arid lands. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 14(2), 185-208 doi: 10.5154/r.rchsza.2015.07.007
- Sanchez Cohen I, Diaz Padilla G, Velasquez Valle MA, Slack DC, Heilman P, Pedroza Sandoval A (2014) (b) A decision support system for rain fed agricultural areas of Mexico. *Computers and Electronics in Agriculture* 114 (2015) 178–188
- Sanchez Cohen I, Lopez VL, Slack DC, Fogel MM (1997) Water Balance Model for Small – Scale Water Harvesting Systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 123 – 128.
- Surfleet Christopher G, Tullios D, Chang H, Jung W (2012) Selection of hydrologic modeling approaches for climate change assessment: A comparison of model scale and structures. *Journal of Hydrology*. Vol 464. 233-248.

USDA (1972) Soil conservation Service. National Engineering Handbook. Sections 4 Hydrology. 115 pp

Vieux BE (2000) Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. In: Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Water Science and Technology Library, vol 38. Springer, Dordrecht