

## XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

### “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE DE MORELIA”

*Alejandra Correa González (1), Sonia Tatiana Sánchez Quispe (2), Mario Alberto Hernández Hernández (3), Miguel Ángel Pérez Martín (4), Benjamín Lara Ledesma (5)*

(1, 2,5) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Santiago Tapia No. 403 Colonia Centro C.P. 58000, Morelia, Michoacán, (1) 045 (443) 199 6783, decoazulale@hotmail.com (2) 045 (443) 246 6616, soniatsq@hotmail.com (5) 01 (443) 3223500 ext. 4308 y 4309

(3,4) Universidad Politécnica de Valencia, España, (3) albertohh@live.com, (4) mperezm@hma.upv.es

#### RESUMEN

El crecimiento de la población es un factor que influye directamente en el comportamiento hidrológico de la cuenca debido al cambio de uso de suelo por el crecimiento urbano; por lo cual para entender la afectación de los recursos hídricos en la cuenca es necesario el uso de modelos hidrológicos en los cuales el comportamiento hidrológico además de las afectaciones se puede estudiar; sin embargo la decisión de seleccionar el adecuado para cuencas mexicanas es complicado pues la mayoría de estos son planteados para diferentes condiciones. En el presente trabajo se realizó el análisis comparativo de dos modelos hidrológicos realizados para diferentes países y condiciones; el modelo PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua) (Pérez, 2005) desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia (España), es un modelo con paso de tiempo mensual, en el cual se utiliza la formulación de Témez (1977) de manera distribuida; el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1993) desarrollado por el Servicio de Investigación Agrícola de Estados Unidos, ARS (Agricultural Research Service), modelo subagregado y físicamente basado.

**Palabras claves:** Ciclo hidrológico, modelación matemática, análisis comparativo, escorrentía superficial.

#### ABSTRACT

The population growth is a factor that directly influences the hydrological behavior of the basin due to the change in land use by urban growth, by which to understand the behaviour of water resources in the basin is necessary to use hydrological models in which hydrological behaviour and damages can be studied, but the decision to select the right one for Mexican basins is complicated because most of these are set for different conditions.

In the present work we performed the comparative analysis of two hydrological models made for different countries and conditions, the model PATRICAL (Contribution precipitation in Integrated Network Segments with Water Quality) (Pérez, 2005) developed by the Polytechnic University of Valencia (Spain), is a model with monthly time step, which is used in the formulation of Témez (1977) in a distributed manner, the model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1993) developed by the Service U.S. Agricultural Research, ARS (Agricultural Research Service), subaggregate and physically based model

**Key words:** Water Cycle, mathematical modeling, benchmarking, surface runoff.

#### SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

*Alejandra Correa González:* Egresada de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo de la Facultad de Ingeniería Civil (2011), actualmente cursando la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Cuenta con una publicación para el congreso XXII, Congreso Nacional de Hidráulica, una publicación para 7º Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación y del Primer Encuentro de Beneficiarios del Programa Becas-Tesis.

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del agua es una problemática que en las últimas décadas está afectando al mundo; sin embargo para realizar programas de gestión de agua es necesario tener claro el comportamiento del agua en el movimiento de su ciclo para entender la afectación que sufre debido al crecimiento de la población y construcción de estructuras hidráulicas, los cuales debido a las necesidades de la población pueden afectarla de manera directa o indirecta.

Por lo anterior surge la necesidad de realizar estudios que permitan tener una visión de las interacciones que tiene el agua con su medio (suelo, subsuelo, etc) por lo cual el estudio a escala de cuenca se está volviendo la mejor opción para el estudio de los recursos hídricos.

Este estudio requiere una gran cantidad de información por tal razón la aplicación de herramientas informáticas en el cálculo de fenómenos naturales como es en el ciclo hidrológico puede dar una respuesta a ciertas incertidumbres en el comportamiento de la escorrentía y posibles alteraciones que pueda presentar este recurso; además de que la mayoría de estos están incorporados a Sistemas de Información Geográfica (SIG) el estudio a nivel de cuenca se realiza de una manera sencilla.

Actualmente existen un gran número de modelos de simulación hidrológica, de formulación matemática diferente como son conceptuales, empíricos, físicamente basados, distribuidos, globales y semidistribuidos entre otros; la selección del modelo se verá limitada por la información de entrada necesaria.

## ANTECEDENTES

La cuenca del río Grande, cuenta con una superficie aproximada de 1200 km<sup>2</sup>. Esta área se localiza en la porción centro-norte del estado de Michoacán, México. El río Grande de Morelia, es la corriente principal que alimenta el Lago de Cuitzeo uno de los principales *lagos* de México.

Uno de los municipios más importantes de la zona de estudio es Morelia (capital del estado), la importancia económica que tiene es relevante; por las industrias establecidas en la ciudad y los servicios que se prestan en ella, como son hoteles, restaurantes, clubes deportivos, balnearios, instituciones de docencia, recintos culturales y central de abasto; las actividades pesqueras en las zonas aledañas y el Distrito de Riego 020.

En el resto de la zona de estudio la actividad predominante es la agricultura, le siguen las

agropecuarias, fruticultura, artesanías, silvicultura y en menor medida la explotación forestal.

Predomina el clima del subtipo templado de humedad media, con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 25° C, aunque ha subido hasta 38° C. La precipitación media anual (mm) reportada en la zona es de 757 mm. Los vientos dominantes provienen del suroeste y del noroeste, con variables en julio, agosto y octubre, con intensidad de 2 a 14.5 km por hora.

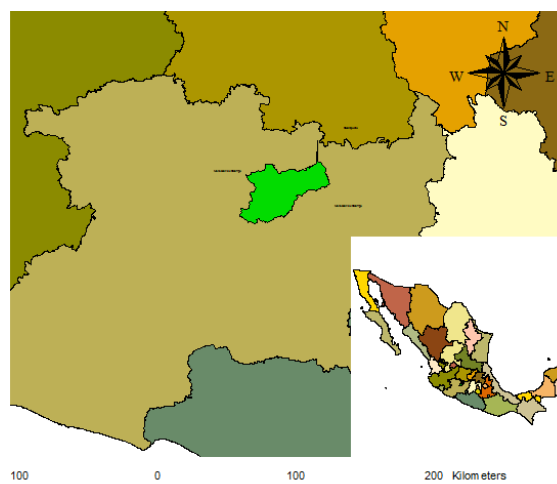


Figura 1. Localización de la cuenca del Río Grande de Morelia

## BASE TEÓRICA

### Modelo PATRICAL (Pérez, 2005)

El modelo PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua) (Pérez, 2005) desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia (España), es un modelo del ciclo hidrológico distribuido espacialmente, con paso de tiempo de simulación mensual, integrado a un módulo de calidad del agua para la modelación del transporte de contaminantes como son los nitratos y conductividad eléctrica.

Este modelo incorpora las características del modelo SIMPA (Sistema Integrado Precipitación Aportación) (Ruiz, 1998), el cual aplica la formulación de Témez de manera distribuida de simulación continua mensual integrado con un sistema de información geográfica GRASS (Estrela, 1996b).

El modelo de Témez (1977) que deriva del modelo de THORNTHWAITE-T y es similar al método planteado por el "Número de Curva" del Soil Conservation Service (SCS, 1972, o McQueen, 1982), ya que es un modelo conceptual de pocos parámetros que simula de forma sencilla el ciclo hidrológico y, a su vez, la ley que gobierna la

generación de excedente, es decir, el agua que no es interceptada por el suelo.

### Modelo SWAT (Arnold et al., 1993)

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1993) desarrollado por el Servicio de Investigación agrícola de Estados Unidos, ARS (Agricultural Research Service), es un modelo subagregado y físicamente basado a escala de cuenca que permite simular el ciclo hidrológico incorporando la propagación en cauces, el crecimiento vegetal, la erosión, el transporte de sedimentos, el ciclo de los nutrientes que se utiliza para predecir los impactos que produce el uso de la tierra en una cuenca hidrográfica.

El modelo SWAT trabaja integrado a un sistema de información geográfica (SIG), para realizar el manejo y visualización de la información de una manera más simple y cómoda para el usuario; se puede integrar al SIG Arc Gis o trabajar como una extensión de Arc View.

En SWAT el ciclo hidrológico está basado en la ecuación del equilibrio del agua

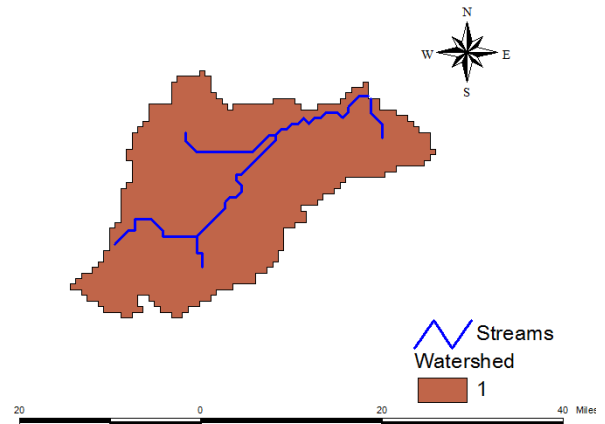
## METODOLOGÍA

Para la obtención de los datos de entrada necesarios del modelo se utilizaron el modelo digital de elevación, los mapas de geología, uso y tipo de suelo; esta información es comercializada por el INEGI en escala 1:250,000 para los mapas de geología, uso y tipo de suelo y 1:50,000 para el modelo digital de elevación.

Por la extensión del área de estudio fue necesaria la unión de 12 modelos digitales de elevaciones cuyas claves son F14C82, F14C83, F14C84, E14A12, E14A13, E14A14, E14A15, E14A22, E14A23, E14A24, E14A32, E14A33; para el caso de geología, tipo y uso de suelo solamente fueron necesarios tener los mapas con el código E1401 Y F1410.

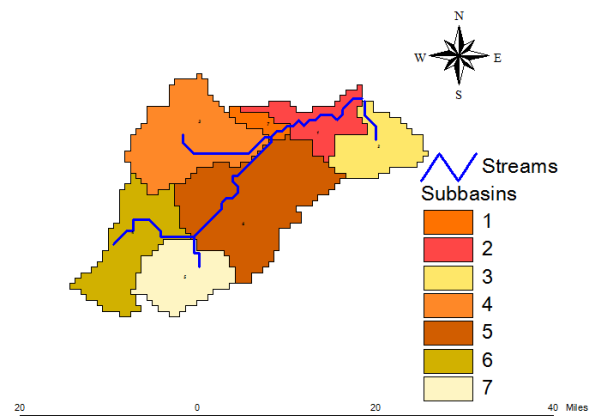
Las series históricas de datos fueron obtenidos de la Comisión Nacional del Agua (CNA), ya que se recaudó información de estaciones climatológicas, hidrométricas. Teniendo 26 estaciones climatológicas y 3 estaciones de aforo.

Para el modelo PATRICAL fue necesario la generación de datos mensuales (precipitación y temperatura), la modelación se realiza por medio de la discretización en celdas de 1000 x 1000 m (Figura 2); en las cuales se aplicó la formulación de Témez (1977) para obtener la escorrentía superficial y subterránea.



**Figura 2 Discretización de la cuenca del Río Grande de Morelia en PATRICAL**

El modelo SWAT trabaja con series diarias de precipitación y con temperatura máxima y mínima. La división de la cuenca la realiza de manera subagregada en el cual se generaron 7 subcuencas para la modelación hidrológica (Figura 3).

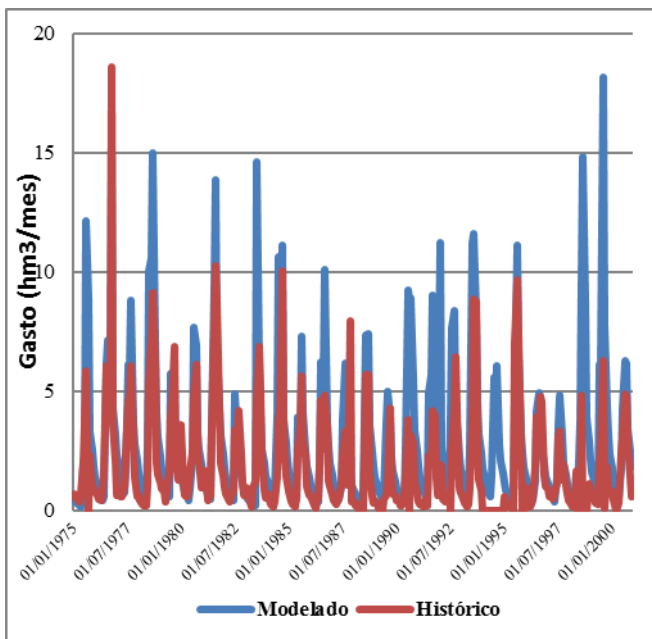


**Figura 3 Subdivisión de la cuenca del Río Grande de Morelia en SWAT**

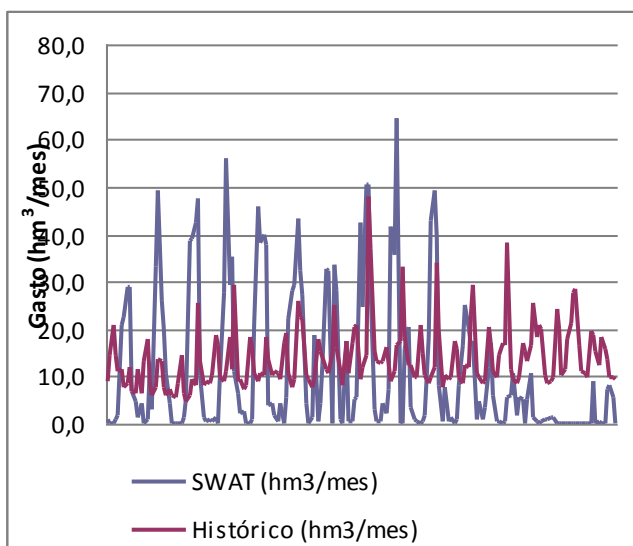
## RESULTADOS

En nuestro caso se compararon los datos obtenidos del modelo con 3 estaciones hidrométricas en donde se realizó la comparación de gastos del período de 1960 al 2010, en dos ocasiones y del 1960 al 2002 la última.

Las estaciones que se utilizaron para la calibración fueron Santiago Undameo, Río Chiquito y Cointzio. En los dos modelos los gastos históricos se asemejan a los modelados como se muestra en la Figura 4 y Figura 5.



**Figura 4 Comparación de gasto histórico y modelado (PATRICAL)**



**Figura 5 Comparación de gasto histórico y modelado (SWAT)**

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El modelo PATRICAL, en muchos aspectos es más sencillo de utilizar pues necesita una menor cantidad de datos en comparación con SWAT; sin embargo los parámetros de calibración son muy sensibles. Además de que se necesita un mayor número de modelaciones para llegar a datos aproximados de gastos.

Además debido a la sensibilidad de los parámetros los valores que arroja deben ser contrastados con series históricas largas.

Para poner en marcha el modelo SWAT se necesita (además de las series diarias de precipitación y

temperatura) datos estadísticos por lo cual dificulta y retarda la modelación sin embargo la aproximación que genera en la primera modelación no se aleja tanto de los gastos reales en comparación de PATRICAL.

## CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, Y TRABAJO FUTURO

Debido a su formulación, ambos modelos tienen ventajas y desventajas; sin embargo para la selección de algún modelo tendrá que ver la información con que se cuente en la zona de estudio. En México no se tiene una gran descripción (como la requerida para SWAT) del tipo de suelo que se tiene a nivel nacional por lo cual varios parámetros del modelo van a quedar incompletos o no van a ser representativos.

Sin embargo con una buena investigación de las características principales de la zona en estudio se podrá llegar a resultados aceptables.

Por otro lado el modelo PATRICAL, tiene la desventaja de las grandes series históricas para la calibración, en México los datos de precipitación en algunas estaciones se cuenta con datos de los años 20, por lo cual esta no es un limitante en su utilización.

Para la aplicación de cualquier modelo se tendrá que realizar un estudio minucioso de las características e información disponible para llegar a resultados de modelación. Sin embargo para el fin que tenga el estudio se podría utilizar uno u otro, evaluando la disponibilidad de información (suelo, precipitación, temperatura)

## BIBLIOGRAFÍA

- Ortiz Rivera, A. (2010). Implementación del modelo hidrológico SWAT: Modelación y simulación multitemporal de la variación de la escorrentía en la cuenca del lago de Cuitzeo. Morelia, Michoacán: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Autónoma de México.
- Pérez, M. Á. (2005). Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y calidad del agua, integrado a sistemas de información geográfica, para grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la directiva marco del agua. Valencia: Tesis doctoral.
- UMSNH, C. (2010). Atlas de la Cuenca del Lago de Cuitzeo: Análisis de su geografía y Entorno Social. Morelia.