

# CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT EN LA CUENCA DEL RIO SEXTIN EN DURANGO, MEXICO

## SWAT: CALIBRATION AND VALIDATION ON SEXTIN RIVER WATERSHED IN DURANGO, MEXICO

R. Trucios Caciano<sup>1</sup>, J. G. Martínez Rodríguez<sup>2</sup>,  
J. L. Blando Navarrete<sup>1</sup>, I. Sánchez Cohen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Domicilio Conocido Bermejillo, Durango. Código Postal 35230.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. k m 6.5 margen derecha Canal Sacramento Gómez Palacio, Dgo. Apdo. Postal 41 Código Postal 35150. Lerdo, Dgo.

**RESUMEN.** Para la modelación del escurrimiento en la Cuenca del Río Sextín se utilizó el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Los insumos requeridos por éste fueron: Modelo Digital de Elevación (MDE), mapas de cobertura vegetal (1976 y 1993) mapa de unidades edafológicas e información climatológica (precipitación pluvial, radiación, temperaturas máximas y mínimas). La calibración y validación del modelo se realizó en el 2005 en diferentes configuraciones de la cuenca, para el cálculo del escurrimiento, teniéndose en éstos coeficientes de determinación (Nash – Sutcliffe,  $R^2$ ) de 0.69 a 0.70 para la calibración de la vegetación de 1976 y valores de 0.72 a 0.84 para la calibración en la vegetación de 1993, tomando como base de comparación el escurrimiento medido en la estación hidrométrica Sardinias. El arreglo geométrico que mejor explicó el escurrimiento observado fue el de mayor tamaño.

**PALABRAS CLAVE:** modelo SWAT, coeficiente de determinación, escurrimiento.

**SUMMARY.** The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic simulation model was used to estimate surface runoff coming out of the Sextin River watershed. SWAT model calibration and validation was performed in three different watershed configurations. The supplies required by this model were: Digital Model Elevation (DEM), land cover maps (1976 and 1993) soil map and weather information (rain, radiation, minimum and maximum temperatures). The Nash-Sutcliff model coefficients ( $R^2$ ) were 0.69 for model calibration (1976) and 0.72 to 0.84 for model validation (1993), taking into consideration observed and simulated surface runoff data. The best model coefficient was obtained in both cases by the simplest configuration (15% drainage area).

**KEY WORDS:** SWAT model, efficiency, surface runoff

### INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una sistema para el manejo, manipulación y análisis de datos espaciales; se emplean para generar información que es de utilidad en la toma de decisiones, principalmente en el área del manejo de los recursos naturales. Una característica clave de los sistemas de información geográfica es la relación entre las características geográficas representadas sobre un mapa y los datos de los atributos que describen esa característica; normalmente se distinguen de otros sistemas que manejan datos espaciales, como el diseño asistido por computadora (CAD siglas en ingles), por

su capacidad para realizar operaciones y análisis espaciales complejos (Theobald, 2000).

Los SIG's y la Hidrología se basan en principios fundamentales muy diferentes; sin embargo, existe un vínculo entre los dos. Los SIG's describen el medio ambiente, mientras la Hidrología describe cómo el ambiente afecta el flujo de agua del ciclo hidrológico. Un objetivo fundamental en la Hidrología Espacial es el uso de los datos espaciales y funciones de los SIG's, a fin de ayudar a generar nuevas ideas y estrategias para solucionar problemas dentro de la Hidrología.

El uso de modelos hidrológicos es, propiamente, la evaluación del escurrimiento por métodos indirectos

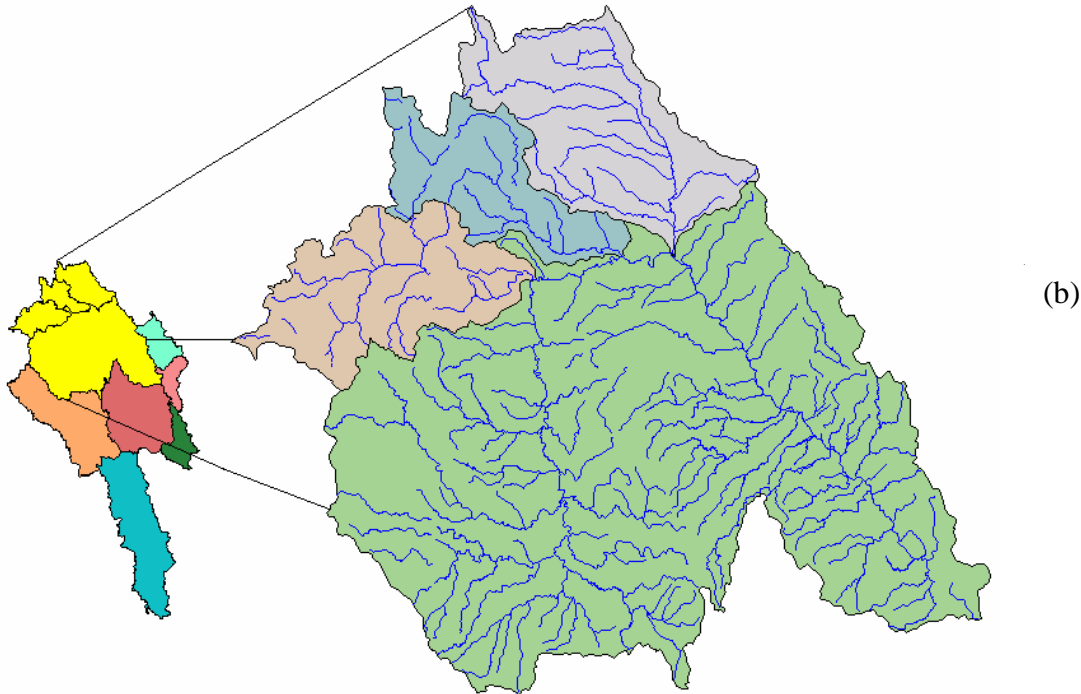
basados en las características físicas de la cuenca (suelos, relieve, cobertura vegetal), las cuales determinan la tasa y tipo de ocurrencia de los procesos hidrológicos. Entre los modelos basados en propiedades físicas y datos meteorológicos se encuentran el de balance hídrico y curva numérica entre otros. Estos enfoques han probado su eficiencia en pequeñas cuencas (Mendoza et al., 2003; Knight *et al.*, 2001 y Fernández *et al.*, 1999).

Para relacionar el escurrimiento con el tipo de vegetación en este estudio se usó el modelo SWAT, el cual es un modelo hidrológico de simulación generado por el personal del Agricultural Research Service<sup>3</sup> (ARS) en los Estados Unidos. Éste modelo está basado en aspectos físicos, usa datos de entrada fácilmente disponibles, es computacionalmente eficiente para operar en grandes cuencas en tiempo razonable, es de tiempo continuo y capaz de simular grandes periodos para computar los efectos en los cambios de manejo. Divide las cuencas hidrográficas en pequeñas subcuencas, al hacer esto es posible calcular con mayor precisión los caudales y los sedimentos presentes. Además para hacer más fáciles y exactos los cálculos, el SWAT<sup>4</sup> trabaja por Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), los cuales resultan del cruce de información de tipos de suelo con las diferentes coberturas o uso de suelo (Neitsch *et al.*, 2002).

La calibración es el proceso de ajuste de valores de parámetros para optimizar el funcionamiento de parámetros de acuerdo a un grupo de criterios predefinidos (Soorooshian y Gupta, 1995). La medida primaria seleccionada para valorar el funcionamiento del modelo en este estudio fue el coeficiente de eficiencia,  $R^2$ , introducido por Nash y Sutcliffe (1970). El coeficiente de eficiencia fue seleccionado porque es adimensional y es fácil de interpretar. Si el modelo predice el escurrimiento observado con perfección,  $R^2 = 1$ . Si  $R^2 < 0$ , el poder de predicción del modelo es peor que simplemente usar el promedio de valores observados  $Q_0$ .

Mediante el análisis del tipo de suelo, topografía y clima en el periodo 1976 -1993 se calibró y validó la cuenca del Río Sextín para dos diferentes coberturas vegetales Serie I (1976) y Serie II (1993). Lo anterior con la finalidad probar si el modelo utilizado se adopta a las características de la región respecto a la simulación de escurrimientos. Para llevar a cabo este proyecto, fue necesario el uso del modelo hidrológico SWAT<sup>o</sup> operado sobre Sistemas de Información Geográfica (ArcView<sup>o</sup>) el cual tiene como cualidad la manipulación de mapas digitales con fines hidrológicos.





**Figura 1.** Ubicación de la RH36 en la República Mexicana (a) y de la Cuenca del río Sextín en la Cuenca alta de la RH36 (b).

El Río Sextín, por su parte, se encuentra en el estado de Durango, situado dentro de los municipios de Tepehuanes, Guanaceví, Ocampo, San Bernardo, El oro e Inde. Tiene su origen en la Sierra Madre Occidental, hacia el Oriente de las cuencas de los ríos de Balleza y Colorado, al Sur de la Sierra del Oso y al Noroeste de la sierra de la Candela. Se ubica entre los paralelos 25° 34' y 26° 30' de latitud Norte y los meridianos 104° 57' y 106° 20' de longitud Oeste (SRH, 1970).

La cuenca de estudio se sitúa en la provincia Sierra Madre Occidental, a su vez comprende la subprovincia Sierras y llanuras de Durango desde el norte hasta el sur de la cuenca, al noroeste la subprovincia Gran meseta y cañones chihuahuenses, y al suroeste la subprovincia Gran meseta y cañones duranguenses. Presenta variaciones en su relieve, siendo la topoforma predominante en la parte alta de la cuenca la meseta asociada con cañadas, y sierra alta en los cerros de mayor altitud como es el caso del cerro del Aguaje (sur de la cuenca) y la sierra del oso (noroeste de la cuenca). El cauce del río se presenta en valles intermontanos y abiertos de montaña, rodeados por lomeríos desde el norte hasta el sureste de la cuenca en la desembocadura con la presa "El Palmito" (SPP, 1981).

En la zona de estudio predominan las rocas ígneas extrusivas (más del 50%), siguiendo las

sedimentarias, ígneas intrusivas y finalmente las metamórficas. Además, hay depósitos de conglomerados y rellenos aluviales del Cuaternario. Las principales estructuras de la Sierra Madre Occidental están constituidas por fracturas y diversas fallas de tipo normal. También existen minas de oro, plata y cobre en el área de estudio (INEGI, 1988).

El territorio comprendido por la cuenca del Río Sextin presenta 7 tipos de clima. En parte oeste predominan climas desde templados subhúmedos [ $C(w_1)$  y  $C(w_0)$ ] hasta semifríos [ $C(E)(w_1)$  y  $C(E)(w_2)$ ] en las partes altas, extendiéndose, de norte a sur, una franja de climas templados. Al noroeste y sureste se presentan climas semisecos templados [ $BS_1kw(w)$  y  $BS_1kw$ ] y semiseco cálido [ $BS_1hw(w)$ ] (SPP, 1980).

El nacimiento del este Río ocurre en un lugar conocido como el Salitre, municipio de Guanaceví, en el estado de Durango, al oriente del Río Colorado. El área de cuenca desde su origen hasta la confluencia con el Río Ramos, en el vaso de la Presa Lázaro Cárdenas es de 8,246 km<sup>2</sup> y una longitud de 245 km (SRH, 1970).

#### **Manejo de información**

Como primer insumo requerido del modelo hidrológico SWAT fue el MDE el cual fue procesado para obtener el

tamaño de la cuenca de acuerdo a la salida que interesaba cuantificar que en este caso fue la estación hidrométrica Sardinias.

Los mapas digitales de uso de suelo que se utilizaron se basaron en la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI escala 1:250,000 (INEGI, 1987) para el caso de la Serie I (1976) y la versión actualizada de esta misma para la Serie II (1993). En el Cuadro 1 se muestran las coberturas vegetales y uso de suelo en la Cuenca del Río Sextín en ambas series. Posteriormente se homologaron las coberturas vegetales de la Serie I y Serie II con los tipos de vegetación de SWAT para aprovechar la robusta base de datos del modelo quedando como se muestran en el Cuadro 1.

Los mapas digitales de tipo de suelo utilizados corresponden a la cartografía de Edafología de INEGI escala 1:250,000 (INEGI, 1988). Se crearon perfiles de cada tipo de suelos en el área de estudio con los parámetros que el software pide para estos. Algunos de

ellos fueron de obtención directa por medio de los mismos mapas que contienen información detallada de cada tipo de suelo.

Los datos correspondientes a las estaciones utilizadas fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Los periodos escogidos por el número de estaciones con datos completos fueron 1975-1979, 1981-1985 y 1991-1995. La información utilizada para la simulación del clima fue: precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad de viento, radiación solar y humedad relativa.

Los resultados obtenidos en cada una de las modelaciones con SWAT fueron analizados estadísticamente mediante el paquete estadístico (SAS<sup>o</sup>) Statistical Analisis System para obtener una relación de la variación entre mediciones y simulaciones por medio de un análisis de regresión. Además se obtuvo el coeficiente de Nash-Sutcliffe mencionado anteriormente.

**Cuadro 1.** Reclasificación de polígonos de Uso de Suelo y Vegetación (Serie II) para SWAT.

Serie I y II	Clave SWAT
Bosque bajo abierto	OAK ( <i>Quercus</i> )
Bosque de ayarín	OAK ( <i>Quercus</i> )
Bosque encino	OAK ( <i>Quercus</i> )
Bosque encino-pino	OAK ( <i>Quercus</i> )
Bosque pino	PINE ( <i>Pinus</i> )
Bosque pino-encino	PINE ( <i>Pinus</i> )
Chaparral	OAK ( <i>Quercus</i> )
Cuerpo de agua (solo en Serie II)	WATR (not applicable)
Area sin vegetación aparente	WATR (not applicable)
Pastizal inducido	SIDE ( <i>Boutelova</i> )
Pastizal natural	SIDE ( <i>Boutelova</i> )
Riego	AGRL (Agricultural Land-Row Crops)
Temporal	AGRL (Agricultural Land-Row Crops)
Vegetación de galería	POPL ( <i>Populus</i> )
Mezquital (solo en Serie I)	MESQ ( <i>Prosopis</i> )

**Cuadro 2.** Estaciones Meteorológicas usadas para modelación del clima.

Clave	Nombre	Registro	Coordenadas		Elevación msnm
			Latitud	Longitud	
10007	Ciénega de Escobar, Tepehuanes	35 años (desde 1966)	25°35'	105°40'	2144
10021	El Palmito, Inde	38 años (desde 1965)	25°31'	104°47'	1630
10026	El Tarahumar, Tepehuanes	42 años (desde 1965)	25°38'	106°21'	2560
10078	Sardinias, San Bernardo	33 años (desde 1971)	26°04'	105°34'	1600
10100	Santiago Papasquiaro	34 años (desde 1965)	25°02'	105°26'	1716

Los registros utilizados en este estudio corresponden a volumen ( $m^3$ ) y gasto ( $m^3s^{-1}$ ) medidos en la estación hidrométrica "Sardinas" con coordenadas geográficas  $25^{\circ}14'$  latitud norte y  $105^{\circ}27'30''$  longitud oeste que cuenta con un registro diario con periodos iguales a los utilizados para las bases de datos climáticas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

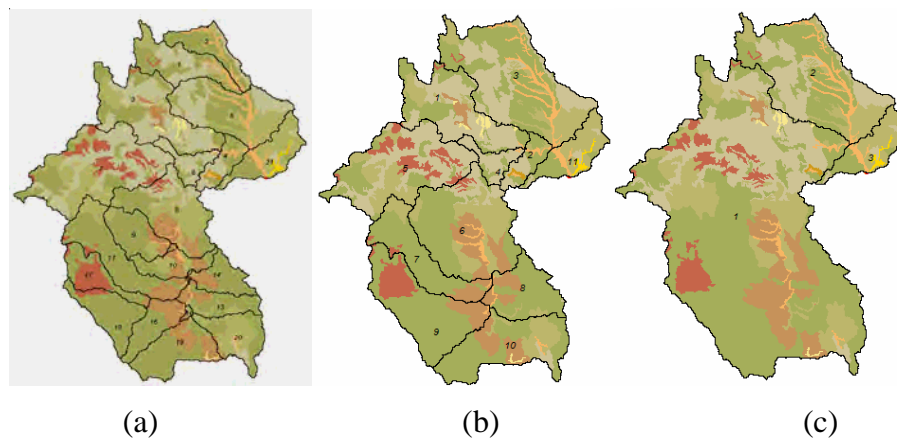
Para efectuar la calibración se utilizó la base de datos climática, del periodo de 1975 a 1979, que incluye datos de precipitación, radiación solar y temperaturas máximas-mínimas. Se utilizó el método propuesto por Priestley-Taylor para calcular la evapotranspiración. Se practicaron 3 tamaños de arreglos geométricos para la simulación de escurrimiento, siendo estos de 12500, 25000 y 75,000 Ha (a partir de ahora M1, M2 y M3 respectivamente, Figura 2). El tamaño de las subcuencas fue seleccionado en relación al porcentaje de la cuenca quedando de esta forma:

M1 = 2.5% de la cuenca de estudio  
 M2 = 5.0% de la cuenca de estudio  
 M3 = 15.0% de la cuenca de estudio

Se considera de gran importancia el uso de diferentes tamaños de subcuencas (Jones *et al.*, 1977; Gburek y Sharpley, 1998; y Calhoun *et al.*, 2002) para el cálculo del escurrimiento debido a que una de las características principales del modelo SWAT es la facilidad que tiene para elegir el tamaño de subcuencas (ha), además cada arreglo geométrico de las subcuencas representa de manera diferente el balance hidrológico, esto es debido a que el modelo se basa principalmente en el tipo y el uso de suelo predominante en la subcuenca y a partir de éste se calculan las variables de salida.

Debido a que cada arreglo geométrico genera datos independientes se calibraron por separado. Tomando como referencia los trabajos de Jasso (1998) y Di Luzio (2002), en un análisis de sensibilidad sobre el modelo, los parámetros que se ajustaron en M1 y M3 fueron curva numérica, grupo hidrológico y conductividad hidráulica para su calibración, mientras que para M2 fue curva numérica y grupo hidrológico.

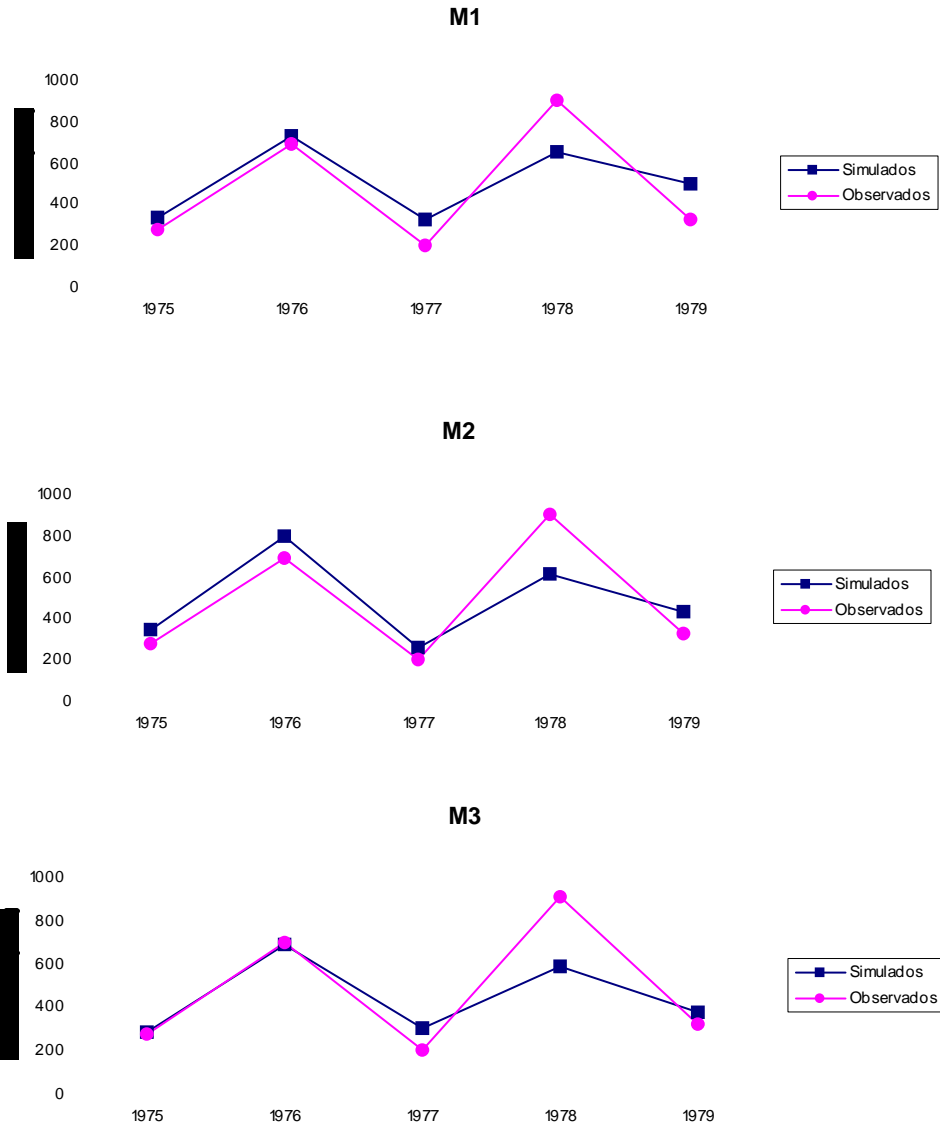
En Figura 3 y 4, se muestran los datos de salida que generó el modelo SWAT para la variable escurrimiento en base al periodo climático ingresado, tomando en cuenta que para la serie I fue de 1975 a 1979 y para la serie II de 1981 a 1985.



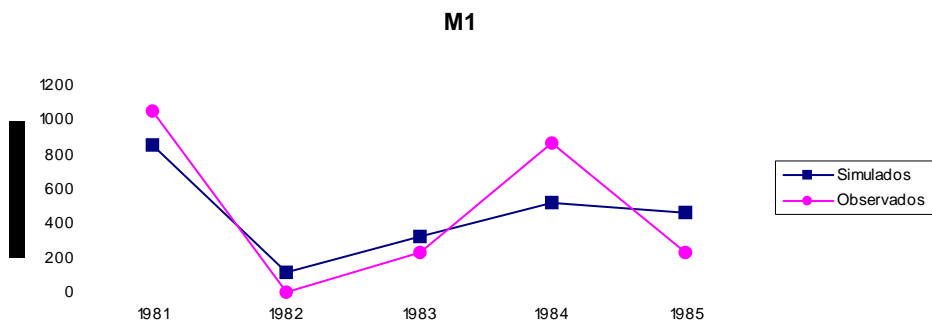
**Figura 2.** Tamaños de elementos geométricos generados para M1 (a), M2 (b) y M3 (c).

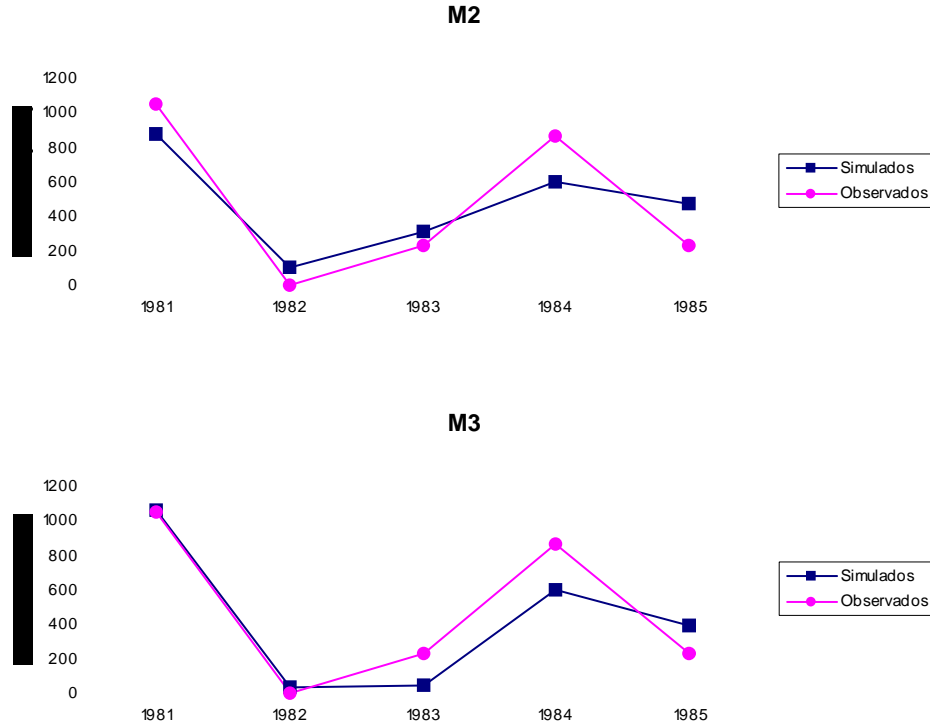
**Cuadro 3.** Características de las divisiones en elementos geométricos de la cuenca del Río Sextín.

Modelo	% de tamaño de Subcuencas	Tamaño de Subcuencas (ha)	Subcuencas Generados
M1	2.50	12,500.00	21
M2	5.00	25,000.00	11
M3	15.00	75,000.00	3



**Figura 3.** Volumen de escurrimiento anual en millones de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>) para valores simulados y observados en M1, M2 y M3 en calibración de la vegetación de 1976 (Serie I).





**Figura 4.** Volumen de escurrimiento anual en Mm<sup>3</sup> para valores simulados y observados en M1, M2 y M3 en calibración de la vegetación de 1993 (Serie II).

Para comparar los datos obtenidos con los datos medidos por la estación Sardinias se calculó el coeficiente de Nash-Sutcliffe y se realizó una regresión sobre los volúmenes anuales obteniéndose los siguientes resultados:

De acuerdo a los resultados presentados del coeficiente Nash - Sutcliffe, el arreglo geométrico que explica mejor los datos observados es M3, en ambas series de vegetación. Esto es debido a que presenta menor

complejidad en el ajuste de parámetros para su calibración, ya que éste cuenta con 3 subcuencas mientras que en M1 se generan 21; implicando esto un mayor esfuerzo en la calibración debido a que la propagación del error en los cálculos de escurrimiento es mayor por el número de subcuencas generadas. La información que se genera en M1 es más específica por ser generadas para una superficie más pequeña, pero se requiere mayor número de estaciones climáticas para mayor número de elementos geométricos. Según

**Cuadro 4.** Resultados de calibración de la vegetación de 1976.

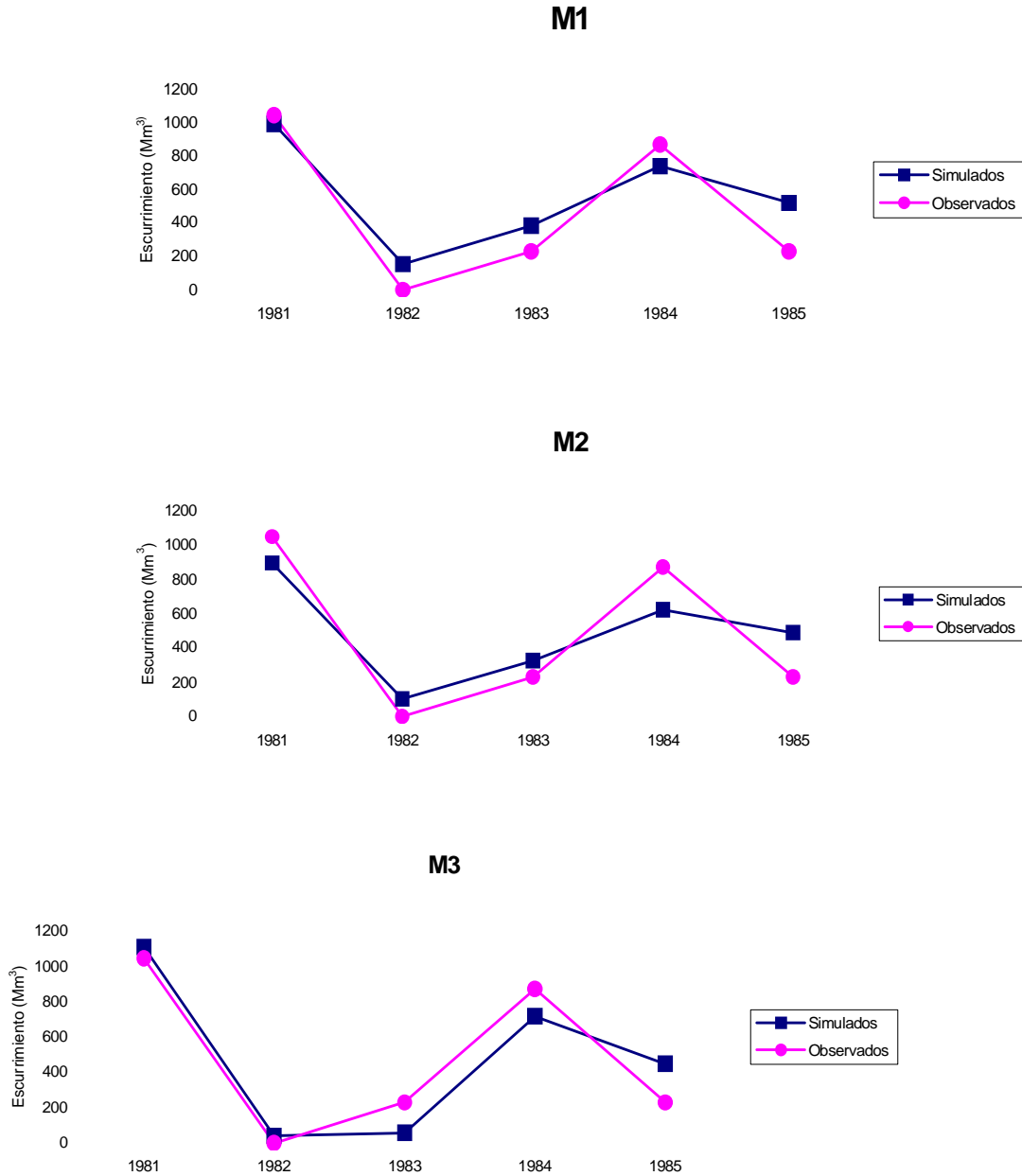
Prueba	Subcuenca Datos	M1		M2		M3	
		Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim
Coeficiente de Nash-Sutcliffe		0.69		0.69		0.70	
R <sup>2</sup> de regresión Relación 1:1		0.7716		0.71		0.8007	

**Cuadro 5.** Resultados de calibración de la vegetación de 1993.

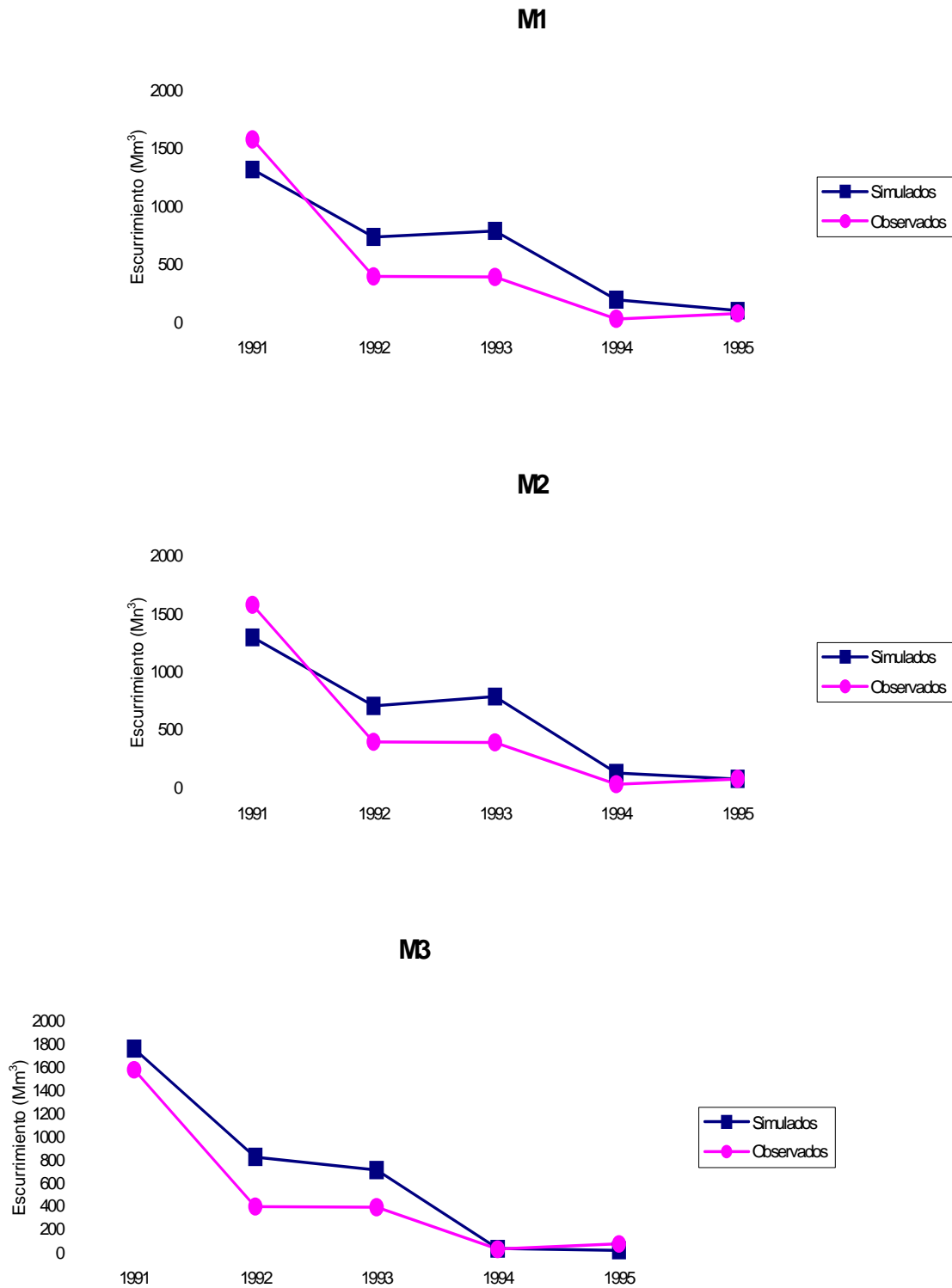
Prueba	Subcuenca Datos	M1		M2		M3	
		Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim
Coeficiente de Nash-Sutcliffe		0.72		0.78		0.84	
R <sup>2</sup> de regresión Relación 1:1		0.8072		0.8683		0.8533	

dicho coeficiente el uso de datos simulados es mejor que el uso de la media aritmética para ambas calibraciones. La regresión por su parte explica a que porcentaje los datos simulados explican los datos observados en relación 1:1 por ejemplo en M3 = 80.07 % para la vegetación de 1976.

Una vez calibrados los modelos generados se validó usando datos de clima de un periodo diferente de tiempo (1981-1985 para Serie I y 1991-1995 para Serie II) sin modificación de otro parámetro obteniéndose lo siguiente:



**Figura 5.** Volumen de escurrimiento anual en Mm³ para valores simulados y observados en M1, M2 y M3 en validación de la vegetación de 1976 (Serie I).



**Figura 6.** Volumen de escurrimiento anual en Mm<sup>3</sup> para valores simulados y observados en M1, M2 y M3 en validación de la vegetación de 1993 (Serie II).

A los datos obtenidos se les calculó el coeficiente de Nash - Sutcliffe sobre los volúmenes anuales para determinar la diferencia con los datos medidos obteniéndose lo siguiente:

**Cuadro 6.** Resultados de validación de la vegetación de 1976.

Prueba	Subcuenca Datos	M1		M2		M3	
		Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim
Coeficiente de Nash-Sutcliffe		0.82		0.79		0.87	
R <sup>2</sup> de regresión Relación 1:1		0.9207		0.869		0.8743	

**Cuadro7.** Resultados de validación de la vegetación de 1993.

Prueba	Subcuenca Datos	M1		M2		M3	
		Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim
Coeficiente de Nash-Sutcliffe		.77		.79		.79	
R <sup>2</sup> de regresión Relación 1:1		.8401		.8308		.9237	

Se observó una tendencia similar en la validación respecto a la calibración, solamente se presenta una variación en la vegetación de 1976, la cual, al momento de validarla en el periodo de 1981 a 1985 para M1 incrementó su coeficiente de determinación respecto a M2, lo cual pudo ser debido a que los datos ingresados al modelo SWAT para estas condiciones específicas sean lo mas cercanos a la realidad. De acuerdo al coeficiente de Nash - Sutcliffe el uso de datos simulados es mejor que el uso de la media de los observados para ambas series de vegetación. La regresión por su parte indica en que porcentaje los datos simulados explican los datos medidos, siendo por ejemplo en M2 = 83.08 % para la vegetación de 1993.

### CONCLUSIONES

El modelo SWAT creado por el USDA –ARS presenta eficiencia alta de acuerdo al coeficiente de Nash – Sutcliffe (R<sup>2</sup>) las cuales se sitúan entre 0.69 y 0.87 para las diferentes configuraciones geométricas.

A menor número de arreglos geométricos o mayor tamaño de estos se obtiene una mayor eficiencia del modelo para representar procesos hidrológicos como lo es el escurrimiento superficial.

El uso de Sistema de Información Geográfica para el desarrollo de un modelo hidrológico es una herramienta que permite ver la información generada en una forma más sencilla a manera de mapas temáticos y de esta manera explicar gráficamente el comportamiento dentro de una cuenca y la información que ahí se genera.

### LITERATURA CITADA

- Calhoun, F. G.; Baker, D. B. y Slater, B. K. 2002. Soils, water quality, and watershed size: interactions in the Maumee and Sandusky River basins of Northwestern Ohio. *Journal of Environ Quality* 31: 47 – 53.
- Di Luzio, M; Srinivasan, R.; Arnold, J.G. and Neitsch, S. L . 2002. Arc View Interface for SWAT2000. User's Guide. Temple, Texas. Published 2002 by Texas Water Resources Institute, College Station, Texas. 337 pp.
- Fernández, D. S.; Oropeza, J.L.; Martínez, M.; Figueroa, B. y Palacios, O.L.. 1999. Aplicación del modelo hidrológico SWRRB en la cuenca El Tejocote, Atlacomulco, Estado de México. *Agrociencia* 33: 1-9.
- Gburek, W. J. and Sharpley, A.N. 1998. Hydrolic Controls on phosphorus loss from uplan agricultural watershed. En *Journal of Environ Quality*. 27: 267 – 277.
- INEGI. 1987. Carta de uso de suelo y vegetación. G13-4, G13-5, G13-7 y G13-8. Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México
- INEGI. 1988. Carta de geología. G13-4, G13-5, G13-7 y G13-8. Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Jasso I., R. 1998. Sensitivity of water and sediment yield to parameter values and their spatial aggregation using SWAT watershed simulation model. Dissertation Submitted to the Faculty of the School of Renewable Natural Resources. Graduate Collage. University of Arizona. 168 pp.
- Jones, L. A.; Smeck, N.E. y Wilding, L.P. 1977. Quality of water discharged from three small agronomic watersheds in the Maumee River basin. *Journal of Environ Quality*. 6: 296 – 302.

- Knight, C. G.; H. Chang; M. P. Staneva and Kostov. 2001 A simplified basin model for simulation runoff: the struma river GIS. *Prof. Geogr.* 53849: 533 – 545.
- Mendoza C.; G. Bocco; E. López y M. Bravo. 2003. Estimación del escurrimiento superficial basado en PR y SIG en cuencas pobremente aforadas del centro de México. *In: Memoria del Simposio Binacional de Modelaje y Sensores Remotos México – USA.* De Alba A., A.; Reyes M., L. y Tiscareño L., M. (eds.) Junio 3-4. Aguascalientes, Ags. pp: 113-122.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
- Neitsch, S. L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R and King, K.W. 2002. Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation (Version 2000). Texas Water Resources Institute, College Station, Texas. 506 pp.
- Sorooshian, S. and Gupta, V.K. 1995: Model Calibration, in: *Computer Models of Watershed Hydrology*, ed. By V.P. Singh, Water Resources Publications, Colorado, USA. p 1130.
- SPP. 1980. Carta de Climas Chihuahua. Escala 1:1,000,000. Secretaría de programación y presupuesto. Dirección general de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. México.
- SPP. 1981. Carta Fisiográfica Chihuahua. Escala 1:1,000,000. Secretaría de programación y presupuesto. Dirección general de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. México, D.F.
- SRH, 1970. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Boletín Hidrológico Num. 35. Región Hidrológica Num. 36. Zona de los ríos Nazas y Aguanaval. Tomo I. (s.p.).
- Theobald, M.D. 2000. GIS Concepts and Arc View methods. Colorado State University. USA. 133 pp.

