

# USO DEL SUELO Y SU EFECTO SOBRE LOS ESCURRIMIENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO HUEHUETÁN

## LAND USE CHANGE AND RUNOFF IN THE HUEHUETAN WATERSHED

Juan Juárez-Méndez<sup>1</sup>; Laura Alicia Ibáñez-Castillo<sup>1\*</sup>; Samuel Pérez-Nieto<sup>1</sup>;  
José Luis L. Arellano-Monterrosas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo.  
Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO.

<sup>2</sup>Comisión Nacional del Agua, MÉXICO.

Correo-e: jm.juan2000@gmail.com; libacas@gmail.com (\*Autor responsable)

### RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis de cambio de uso del suelo bajo dos escenarios: 1990 y 2005. El objetivo fue analizar su efecto en los escurrimientos de la cuenca del Río Huehuetán, localizada en la Costa de Chiapas, México, utilizando en ambos casos el mismo evento de lluvia histórico del huracán Stan y empleando el modelo HEC-HMS. El análisis del cambio de uso del suelo se llevó a cabo mediante técnicas de interpretación de imágenes de satélite LANDSAT TM para 1990 y SPOT 5 para 2005 y mediante sobreposición cartográfica en el Sistema de Información Geográfica ArcView GIS 3.2. Con la extensión GeoHMS para ArcView se delimitaron un total de 25 subcuencas y se determinaron los parámetros hidrológicos necesarios para construir los modelos de los dos escenarios (1990 y 2005), los cuales fueron realizados en HEC-HMS 2.2.2 bajo el esquema del hidrograma unitario sintético del *Soil Conservation Service* (SCS) y con el evento de lluvia correspondiente al paso del huracán STAN en octubre del 2005. Los resultados encontrados muestran que no existieron diferencias significativas en los escurrimientos máximos en los dos escenarios; en 1990 fue 2,566.4 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> y en 2005 de 2,544.0 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> con una disminución de 0.87 %. De esta forma los resultados obtenidos son un reflejo de un buen estado de conservación de los recursos naturales de la cuenca.

**Palabras clave adicionales:** cambio de uso del suelo, escurrimiento superficial, HEC-HMS.

### ABSTRACT

In this work, an analysis of land use change was done under two scenarios, 1990 and 2005, to evaluate its effects in Huehuetán watershed runoff by using the same historical storm of the hurricane Stan and the HEC-HMS software; this watershed is located in Chiapas, Mexico. The land use change was made with satellite images interpretation and overlay cartographic operation in the GIS software, ArcView GIS 3.2; the satellite image for 1990 year was LANDSAT TM while 2005 year was SPOT 5. With GeoHMS, an extension for Arc View, was delimited 25 subbasins and calculated hydrologic parameters to build HMS models, which were constructed in the HEC-HMS 2.2.2 software under synthetic SCS unit hydrograph and with a historical storm during hurricane STAN in October 2005 year. The results show that there were not significant differences in runoff between the two scenarios. In 1990 the flow was 2,566.4 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> and 2005 year the flow was 2,544.0 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. The runoff decreased 0.87 % in the period of analysis. The results obtained are an expression of good condition of natural resources conservation in the watershed.

**Additional key words:** land use change, runoff, HEC-HMS.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años México ha presentado un fuerte proceso de cambio de uso de suelo. Tierras de uso forestal han sido convertidas a tierras agrícolas y tierras agrícolas han sido convertidas a urbanas o simplemente ha ocurrido una deforestación, dejando el suelo desnudo. Estos cambios de uso de suelo han modificado el funcionamiento de los ecosistemas que tienen como recipiente natural a las cuencas. Los cambios de uso de suelo como los mencionados anteriormente ocurren en México y en el resto del mundo ocasionando un impacto negativo que se manifiesta en un incremento en la pérdida de suelo, un mayor aumento en los escurrimientos y, por lo tanto, mayores inundaciones (Jain *et al.*, 2004; Hundedcha y Bardosy, 2004; Pérez *et al.*, 2005; Thanapakpawin *et al.*, 2006; Miranda-Aragón *et al.*, 2009).

En septiembre de 1998 y octubre del 2005 varias cuencas costeras de Chiapas, México, en especial las cuencas Huixtla, Huehuetán y Coatán, presentaron serias inundaciones y se tiene la hipótesis de que fueron ocasionadas por la combinación de factores tales como la deforestación, las características fisiográficas de las cuencas y eventos meteorológicos extremos. En este trabajo se tiene como objetivo valorar el impacto de los cambios de uso de suelo en el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Huehuetán bajo los escenarios de uso de suelo de 1990 y 2005, tomando como base imágenes de satélite LANDSAT TM y SPOT 5, y bajo el mismo evento meteorológico de la tormenta tropical STAN ocurrido en octubre del 2005.

La respuesta hidrológica de la cuenca se estimó con un modelo lluvia-escurrimiento basándose en la teoría del hidrograma unitario (Aparicio, 2001; Bedient *et al.*, 2007), utilizando el software HEC-HMS (USACE, 2001), el cual es un modelo de simulación hidrológica asistida por técnicas de sistemas de información geográfica y fortalecido con el apoyo de sensores remotos (Olivera y Maidment, 1999; Schumann *et al.*, 2000; Sánchez, 2006).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Información y software utilizado

Se utilizó la siguiente información: (a) información pluviográfica de la tormenta tropical STAN del 28 de octubre al 6 de noviembre del 2005 en las estaciones meteorológicas Finca Argovia y UNACH; (b) imágenes de satélite LANDSAT 1990 y SPOT 2005, (c) cartas topográficas INEGI 1:50,000; (d) cartas edafológicas INEGI 1:250,000; (e) modelo digital de elevación bajado del sitio de Internet de INEGI. El software utilizado fue (f) IDRISI Klimanjar para interpretación de imágenes de satélite; (g) ArcView GIS 3.2., (h) HEC Geo-HMS Versión 1.1; (i) HEC-HMS versión 2.2.1.

### Descripción del área de estudio

La cuenca del Río Huehuetán (Figura 1) está ubicada

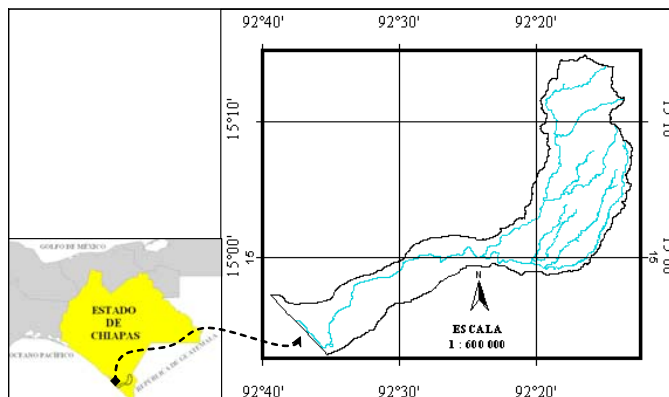


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Río Huehuetán.

entre las coordenadas  $14^{\circ} 52' 48''$  a  $15^{\circ} 7' 48''$  de latitud norte y  $92^{\circ} 16' 12''$  a  $92^{\circ} 39' 36''$  de longitud oeste; pertenece a la Región Hidrológica Núm. 23, Costa de Chiapas; se localiza al sureste de la República Mexicana, sobre la vertiente del Océano Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas. La superficie aproximada de la cuenca del Río Huehuetán es de  $476.6 \text{ km}^2$ ; sin embargo, en este trabajo se modeló el proceso lluvia-escurrimiento hasta la ciudad de Huehuetán cubriendo un área de  $320 \text{ km}^2$ . La cuenca incluye elevaciones desde  $2,700 \text{ m}$  hasta llegar al nivel del mar. La ciudad de Huehuetán, punto hasta donde se realizó este trabajo, está a una altitud de  $10 \text{ m}$ . La pendiente media de la cuenca es  $34 \%$ , la pendiente del cauce es de  $4.3 \%$  y el tiempo de concentración es de  $3.8 \text{ h}$  hasta la ciudad de Huehuetán. De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García en 1964, la cuenca tiene un clima predominantemente cálido-húmedo. La precipitación media anual en la cuenca es de  $3,207 \text{ mm}$ , la cual es un promedio de Finca Argovia y Huehuetán (Servicio Meteorológico Nacional, 2008). En el 2005 la precipitación anual fue de  $4,713 \text{ mm}$ ; el mes más lluvioso fue octubre y el  $70 \%$  de su lluvia se concentró en los días del 3 al 7 de octubre. Las texturas de suelo en la cuenca son un  $49 \%$  textura fina,  $44 \%$  textura mediana y  $7 \%$  textura gruesa. El Cuadro 2 y la Figura 4 muestran los usos del suelo en la cuenca durante 1990 y 2005.

### Hidrografía

El nacimiento del Río Huehuetán ocurre cerca de los límites entre México y Guatemala. Corre hacia el suroeste en dirección a Huehuetán, población que queda inmediata a su margen derecha (SRH, 1970); la corriente que le da origen es el Río Cuilco, al cual desemboca en su margen derecha el Río La Joya y posteriormente se unen el Río Cuilco y el Río Escocia y de ahí en adelante la corriente principal se le denomina Río Huehuetán. En su trayecto hacia la costa recibe un afluente en su margen derecha, el Río Nexapa, al cual desembocan los ríos: Santo Domingo, Chalito, Chalón y Caracol. Después de la confluencia con el Río Nexapa la corriente se difunde en la marisma de la costa chiapaneca (Figura 2).



información meteorológica, (b) identificar zonas específicas de uso de suelo para después utilizar en la clasificación supervisada de imágenes de satélite, (c) muestreo de suelos para determinación de textura y de propiedades físicas del suelo.

### Modelo meteorológico

El evento meteorológico considerado fue la tormenta del STAN ocurrida en el 2005 durante el periodo del 28 de septiembre al 6 de octubre. En especial, se consideraron dos estaciones pluviográficas: Finca Argovia y Campo UNACH. Las precipitaciones consideradas a lo largo del evento comprenden periodos de 10 minutos.

### Clasificación supervisada de las imágenes de satélite

El proceso de clasificación se aplicó tanto para imágenes LANDSAT TM de 1990 como a las SPOT 5 de 2005. El método supervisado se basó en el conocimiento del tipo de vegetación y usos del suelo presentes, fácil de discriminar en las composiciones realizadas con las imágenes. Después de la clasificación de ambas imágenes se procedió a realizar la tipificación de los cambios de uso del suelo de acuerdo a la metodología del Ordenamiento Territorial de la SEMARNAT *et al.* (2000).

### Estimación de parámetros hidrológicos

Una vez extraídas todas las características físicas de las cuencas y cauces fue posible realizar estimaciones de varios parámetros hidrológicos. Fue necesario contar primero con los siguientes: pendiente del cauce, pendiente media de la cuenca y NC. El tiempo de retraso, un concepto que es una variante del tiempo de concentración, se calculó con la Ecuación (3).

Finalmente se estimó el tiempo de concentración, velocidad media del agua, así como los parámetros  $K$  y  $x$  para el tránsito de avenidas en cauces naturales por el método de Muskingum; siendo  $K$  una constante llamada parámetro de almacenamiento y  $x$  un factor de peso que expresa la influencia relativa de las entradas y salidas del almacenamiento en el tramo de cauce considerado (Aparicio, 2001).

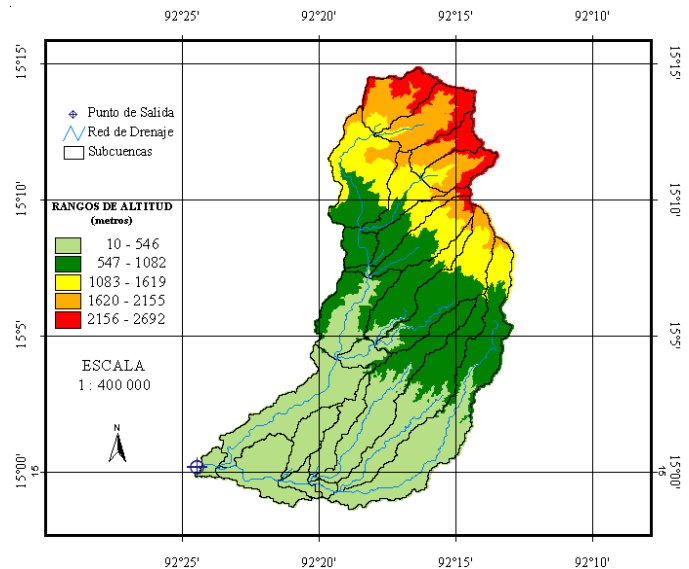


Figura 3. Punto de salida y subcuencas extraídas con GeoHMS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### División de la cuenca con HEC-Geo-HMS

La cuenca fue delimitada usando el software HEC-Geo-HMS y a su vez ésta fue subdividida en 25 subcuencas (Figura 3). En este trabajo se eligió dividir a la cuenca en 25 subcuencas porque con esta división se pueden reconocer las diferentes características de tributarios y usos de suelo.

### Clasificación de uso del suelo y vegetación

Los resultados de la clasificación y los porcentajes de ocupación se presentan en el Cuadro 1. En la parte alta de la cuenca se encuentran las áreas boscosas de clima templado tales como bosque de pino (BP), bosque de pino encino (BPQ) y bosque de encino pino (BQP) y, en la parte media, las selvas correspondientes al clima cálido (SMSC/VS). Los cultivos agrícolas permanentes, pastizales, suelos desnudos y en descanso se encuentran en las partes media y baja de la cuenca,

Cuadro 1. Categorías y superficie (ha) de usos del suelo encontrados en la cuenca en los dos años de análisis.

Clave	Descripción	1990	2005	Tendencia
BP	Bosque de pino	626	622	Permanecer
BPQ	Bosque de pino-encino	1,353	2,072	Aumentar
BQP	Bosque de encino-pino	4,065	2,875	Disminuir
SMSC/VS	Selva mediana subcaducifolia	12,092	9,164	Disminuir
PAST-RAS	Pastizal rasante	2,648	6,853	Aumentar
S-DESN	Suelos en descanso	1,073	61	Disminuir
UA-CP	Uso agrícola-cultivos permanentes	7,492	7,419	Permanecer
AU y POB	Áreas urbanas y pobladas	131	643	Aumentar

las áreas urbanas se ubican en la parte media y el núcleo de mayor importancia y densidad está localizado en la parte baja y a la salida de la cuenca.

Al comparar el comportamiento del uso del suelo entre los años 1990 y 2005 (Cuadro 1 y Figura 4), se detectaron los siguientes cambios: permanencia de cubiertas boscosas de pino; este uso se mantiene sin alteración aparente y el bosque de pino-encino aumenta en más de un 30 %. La selva mediana también ha disminuido en un 25 % debido a aspectos que han modificado la producción cafetalera y a los cambios en los precios de mercado. Las áreas de pastizales se han incrementado notablemente en un 60 %. Asimismo, las áreas que han cambiado de forma drástica son las áreas agrícolas de suelos desnudos (disminución) y con un fuerte aumento y desarrollo de áreas urbanizadas con respecto al año 1990. Las superficies de cultivos agrícolas permanentes (mango, caña y café principalmente) presentan poca variación.

### Números de curva (NC)

La correspondencia de las categorías de usos del suelo (1990 y 2005) y de los NC del SCS se presenta en el Cuadro 2. Note en el Cuadro 2 que para el SCS no hay diferencia en el NC para los diversos tipos de bosque y selva, lo cual es cuestionable, ya que la respuesta hidrológica de cada bosque o selva es diferente. Los NC señalados en el Cuadro 3, corresponden a valores ponderados por subcuenca, ajustados por pendiente y posteriormente por humedad antecedente, y dan información sobre las condiciones que presenta el comportamiento hidrológico del área de estudio, de acuerdo a los datos reportados en este cuadro no existe mucha diferencia en los números de curva entre 1990 y 2005, ya que se mantienen constantes, disminuyen o aumentan en no más de tres unidades. En realidad, esto se debe a que hubo cambios, por ejemplo, de las poblaciones de BPQ y BQP entre 1990 y 2005, pero como la tabla de NC mostrada en el Cuadro 2 no diferencia entre ambos bosques, el número de curva varía poco para cada subcuenca.

Aunque los resultados en los valores de NC, en esta cuenca en particular, son atribuibles a las siguientes causas adicionales: las condiciones ambientales son buenas y con cobertura arbórea de vegetación natural y cultivos de sombra (café), en la cuenca del Río Huehuetán se han realizado prácticas de conservación de suelo y agua desde 1995, lo que ha contribuido a mejorar las condiciones hidrológicas de la cuenca. Existen pocos cambios de uso de suelo atribuibles al impacto de las actividades antropogénicas que han modificado la condición natural de la cuenca hacia otros tipos de cobertura arbórea o han propiciado la introducción de cultivos que necesitan estar bajo cubierta vegetal.

Otra causa de ese comportamiento en los resultados de número de curva es la fuente de información, ya que las imágenes empleadas para analizar los dos escenarios (1990 y 2005) de uso del suelo corresponden a sensores diferentes (LANDSAT Y SPOT) y distinta resolución espacial (30 y 10 metros, respectivamente). La condición hidrológica que se empleó fue la misma para ambos escenarios. Finalmente, la tabla reportada del SCS para asignar números de curva no presenta una amplia gama de usos de suelo

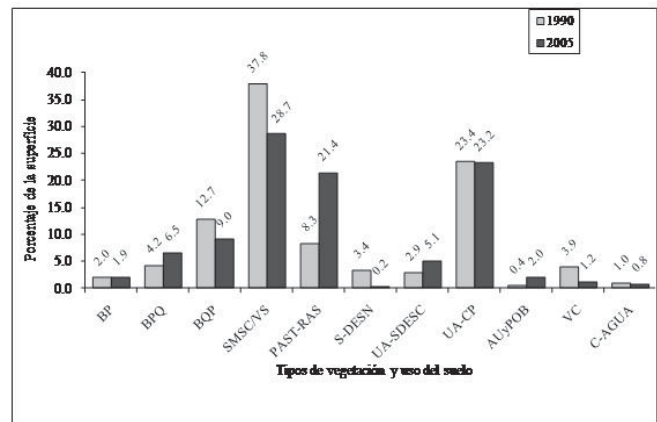


Figura 4. Porcentaje de cada uso de suelo para cada fecha de análisis.

Cuadro 2. Números de curva (NC) para los usos de suelo en la cuenca Huehuetán.

Clave	Uso de suelo	Práctica agrícola	Tipo hidrológico		
			A	B	C
BP	Bosque o selva	-	30	48	65
BPQ			30	48	65
BQP			30	48	65
SMSC/CP			30	48	65
PAST-RAS	Área de pastoreo	No mecanizado	68	79	86
S-DESN	Suelos desnudos	-	77	86	91
UA-SDESC	Tierra agrícola no cultivada	-	39	61	74
UA-CP	Tierras forestales	-	32	58	72
AUYPOB	Uso urbano	-	39	61	74
VC	Carreteras y caminos	Terracería	72	82	87
		Pavimento	83	89	92
C-AGUA	Cuerpos de agua	-	92	92	92

**Cuadro 3. Parámetros hidrológicos de las subcuencas utilizados en el modelo HMS.**

Subcuenca		Área (km <sup>2</sup> )	1990			2005		
			NC	TR (min)	K (h)	NC	TR (min)	K (h)
SC1	R. Cuilco - El Naranjo	12.99	82	30.86	0.12	81	31.23	0.12
SC2	R. Cuilco - Dos Hermanas	14.60	80	35.65	0.44	80	35.71	0.44
SC3	R. Cuilco - Flor El Naranjo	7.59	81	31.79	0.05	81	31.46	0.05
SC4	R. La Joya - El Mirador	8.84	80	22.49	0.13	81	22.13	0.12
SC5	R. La Joya - Sandino	23.95	82	47.10	1.05	82	47.21	1.05
SC6	R. La Joya - Chanjul	9.67	82	36.92	0.80	83	36.76	0.80
SC7	R. Cuilco - Zaragoza	5.04	84	23.12	0.54	83	23.85	0.56
SC8	Santa Rosalía	8.09	82	44.05	0.21	81	44.54	0.21
SC9	Finca Argovia	0.88	84	15.87	0.19	83	16.51	0.20
SC10	R. Cuilco - Las Maravillas	14.13	82	40.65	0.50	81	41.52	0.51
SC11	R. Cuilco - San Francisco	14.39	82	65.91	0.52	82	66.70	0.53
SC12	R. Escocia - Chicharras	23.36	90	53.88	0.76	90	54.43	0.76
SC13	R. Escocia - Santa Rita	17.48	58	97.80	2.16	57	102.34	2.26
SC14	R. Tepacalapa -R. Nejapa	4.29	58	50.24	1.14	56	52.08	1.18
SC15	R. Escocia - Zaragoza	23.28	91	63.84	1.51	92	61.23	1.45
SC16	R. Huehuetán	13.93	87	65.75	1.11	89	60.46	1.02
SC17	R. Chalón	7.94	90	49.56	0.14	91	47.86	0.13
SC18	R. Santo Domingo	25.83	90	80.67	1.35	90	80.31	1.35
SC19	Estación Huehuetán	7.73	90	47.45	0.25	91	44.98	0.23
SC20	R. Nejapa - Cantón Nejapa	2.99	88	31.27	0.47	90	29.53	0.44
SC21	R. Chalito	0.25	88	10.18	0.17	90	9.41	0.15
SC22	Belisario Domínguez	1.37	86	23.33	0.49	89	20.99	0.44
SC23	R. Chalón - El Tivoli	26.75	90	83.32	1.35	90	83.39	1.35
SC24	R. Nejapa - R. Caracol	43.07	90	98.12	2.06	90	96.81	2.04
SC25	R. Nejapa	2.29	91	28.93	0.47	92	27.68	0.45
TOTAL		320.73						

como los del área de estudio, por lo que para poder emplearla se hace una generalización de las clasificaciones determinadas.

### Resultados de la simulación en HEC-HMS para cada escenario de uso del suelo

Los escurrimientos superficiales en las subcuencas, expresados en el gasto pico ( $Q_{max}$ ), obtenidos con el modelo HEC-HMS, se muestran en el Cuadro 4. De acuerdo a los resultados mostrados, el comportamiento del escurrimiento es de la siguiente manera: en nueve subcuencas disminuyó, en otras doce aumentó y en cuatro se mantuvo constante. Al igual que en los números de curva, los cambios en el escurrimiento no fueron significativos. Este reporte de “cambios no significativos en los escurrimientos” está basado en un análisis estadístico de comparación de medias de los 25 escurrimientos de las subcuencas usando la prueba de t de student sobre la media de dos poblaciones con varianzas iguales y a un nivel de significancia del 5 % ( $t_0=0.0019$  y  $t_{tablas}=2.01$ ).

Los hidrogramas a la salida de la cuenca para los escenarios de uso de suelo de 1990 y 2005 y para el mismo evento

meteorológico de la tormenta STAN se muestran en la Figura 5. Aunque la simulación hidrológica fue del 29 de septiembre al 7 de octubre, los hidrogramas sólo muestran lo que ocurrió el 4 de octubre del 2005, que fue el día más crítico en lo que se refiere a la magnitud de los caudales. Se puede observar que ambos hidrogramas son casi iguales, por lo que se puede inferir que en el caso de la cuenca del Río Huehuetán, las inundaciones se debieron a lo severo del evento meteorológico y no al cambio de uso de suelo, pero dichas inundaciones fueron amortiguadas por el buen estado de conservación natural de la cuenca.

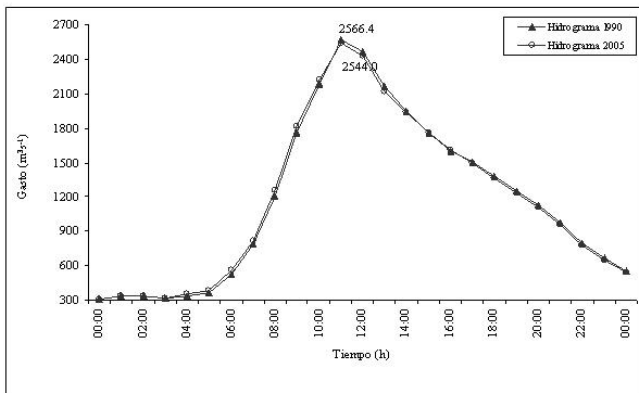
### CONCLUSIONES

No hubo un cambio de uso del suelo significativo en la cuenca del Río Huehuetán de 1990 al 2005, por lo que no se observó una modificación en el comportamiento hidrológico, y los gastos pico en las subcuencas y a la salida de la cuenca no presentaron diferencias significativas.

Las inundaciones en la cuenca del Río Huehuetán se debieron al evento meteorológico y no al cambio de uso de suelo.

**Cuadro 4. Gastos máximos obtenidos a nivel de subcuenca con HEC-HMS.**

Subcuenca	1990Qmax (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	2005Qmax (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Diferencia(2005-1990) (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Comportamiento	
SC1	R. Cuilco - El Naranjo	196.54	196.02	-0.52	Disminución
SC2	R. Cuilco - Dos Hermanas	215.33	215.33	0.00	Constante
SC3	R. Cuilco - Flor El Naranjo	113.98	114.47	0.49	Incremento
SC4	R. La Joya - El Mirador	141.69	142.10	0.41	Incremento
SC5	R. La Joya - Sandino	339.35	339.35	0.00	Constante
SC6	R. La Joya - Chanjul	142.86	143.21	0.35	Incremento
SC7	R. Cuilco - Zaragoza	80.87	79.94	-0.93	Disminución
SC8	Santa Rosalía	116.15	115.32	-0.83	Disminución
SC9	Finca Argovia	15.16	14.94	-0.22	Disminución
SC10	R. Cuilco - Las Maravillas	205.48	204.07	-1.41	Disminución
SC11	R. Cuilco - San Francisco	187.79	187.01	-0.78	Disminución
SC12	R. Escocia - Las Chicharras	325.72	325.72	0.00	Constante
SC13	R. Escocia - Fracc. Santa Rita	176.65	172.46	-4.19	Disminución
SC14	R. Tepacalapa - R. Nejapa	46.66	43.69	-2.97	Disminución
SC15	R. Escocia - Zaragoza	359.32	368.20	8.88	Incremento
SC16	R. Huehuetán	207.21	218.29	11.08	Incremento
SC17	R. Chalón	134.25	136.97	2.72	Incremento
SC18	R. Santo Domingo	357.89	359.93	2.04	Incremento
SC19	Estación Huehuetán	133.64	136.41	2.77	Incremento
SC20	R. Nejapa - Cantón Nejapa	58.53	59.82	1.29	Incremento
SC21	R. Chalito	6.56	6.72	0.16	Incremento
SC22	Belisario Domínguez	29.00	30.31	1.31	Incremento
SC23	R. Chalón - El Tivoli	366.56	366.56	0.00	Constante
SC24	R. Nejapa - R. Caracol	544.96	547.77	2.81	Incremento
SC25	R. Nejapa	46.63	47.36	0.73	Incremento
Salida		2,566.40	2,544.00	-22.40	Disminución

**Figura 5. Hidrogramas a la salida de la cuenca del día 4 de octubre.**

Dado que en el 2005, los caudales ocurridos en el Río Huehuetán no fueron medidos, a partir de el modelo hidrológico HEC-HMS desarrollado en este trabajo se estima que el gasto pico fue de de 2,544.0 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>

Las tablas del NC del SCS necesitan reflejar una diferencia

en el comportamiento hidrológico de las diversas poblaciones de bosque y selva, ya que actualmente vale lo mismo el CN para BPQ, BQP, BP y las varias selvas reportadas.

Se recomienda que el modelo de simulación hidrológica lluvia-escorrentamiento generado en este trabajo se utilice como un laboratorio para probar el efecto de nuevas alternativas de manejo de uso de suelo.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Frontera Sur, por el apoyo para el desarrollo de esta investigación. Al Dr. Ramón Arteaga Ramírez, por la revisión cuidadosa y desinteresada de este trabajo.

#### LITERATURA CITADA

- Aparicio M. F. J. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. LIMUSA. México, D.F.
- Bedient P. B.; Huber W. C.; Vieux B. E. 2007. Hydrology and floodplain analysis. Fourth edition. Prentice-Hall. USA.

- Hundeche Y.; Bardosy A. 2004. Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology* 299: 107-135.
- Jain M. K.; Kothiyari, V. C.; Ranga Raju, K. G. 2004. A GIS based distributed rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology* 299: 107-135.
- McCuen R. H. 2005. *Hydrologic analysis and design*. Third Edition. Prentice-Hall. USA.
- Miranda-Aragón L.; Ibáñez-Castillo L. A.; Valdéz-Lazalde R.; Hernández-de la Rosa P. 2009. Modelación hidrológica empírica del gasto de 100 años de periodo de retorno del Río Grande, Tlalchapa, Guerrero en dos escenarios de uso de suelo. *Agrociencia* 43(4): 333-344.
- Olivera F.; Maidment, D. 1999. Geographic information system (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing. *Water Resources Research* 35(4): 1155-1164.
- Pérez N. J.; Váldez V. E.; Hernández S. M; Ordaz C. V. 2005. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Agrociencia* 39: 409-418.
- Sánchez S. R. 2006. HEC-HMS, manual elemental. Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca. España. Disponible en: <http://web.usal.es/javisan/hidro>.
- Schumann A. H.; Funke R.; Shutz G. A. 2000. Application of geographic information system for conceptual rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology* 240: 45-61.
- SEMARNAT; SEDESOL; CONAPO. 2000. *Guía metodológica para el ordenamiento ecológico del territorio*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y Consejo Nacional de Población (CONAPO). México, D.F.
- SRH. 1970. *Boletín hidrológico de la región hidrológica 23 Costa de Chiapas*. México, D.F.
- Thanapakpawin, P. J; Richey D.; Thomas S.; Rhoda B.; Campbell; Logsdon M. 2006. Effects of land-use change on the hydrologic regime of the Mae Chaem river basin, NW. Thailand. *Journal of Hydrology* 334: 215-230.
- USACE. 2001. *Hydrologic modeling system HEC-HMS. User's manual. Version 2.2.2*. U.S. Army of Corps Engineers. Hydrologic Engineering Center, USA.
- USACE. 2003. *Geospatial hydrologic modeling extension HEC-GeoHMS. Version 1.1 User's Manual*. U.S. Army of Corps Engineers. Hydrologic Engineering Center, USA.