

# ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA PROVOCADA POR EL HURACÁN STAN EN LAS CUENCAS COSTERAS DE CHIAPAS, MÉXICO

Estimate of the Water Erosion Caused by Hurricane Stan in the Coastal Basins of Chiapas, Mexico

Pérez-Nieto S.<sup>1‡</sup>, Arellano-Monterrosas J. L.<sup>2</sup>,  
Ibáñez-Castillo L. A.<sup>1</sup> y Hernández-Saucedo F. R.<sup>1</sup>.

## RESUMEN

Para evaluar la erosión hídrica provocada por las lluvias extremas del huracán Stan en octubre de 2005, en las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, localizadas en Chiapas, México, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) mediante la técnica de álgebra de mapas. Se elaboraron mapas para cada uno de los factores de la EUPS para los años 1990 y 2005 (antes y después del huracán Stan) y se aplicó la EUPS a nivel de microcuencas. Para la clasificación de los resultados de pérdida de suelo se consideraron siete categorías de erosión hídrica: nula de 0 a 5, incipiente de 5 a 10, moderada 10 a 50, severa de 50 a 200, muy severa de 200 a 500, extrema de 500 a 1000 y muy extrema para valores mayores de 1000 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Para noviembre de 2005, el mayor porcentaje de erosión hídrica se concentró en el rango de severa, para las cuencas de Huixtla y Huehuetán (con 39.08 y 20.36% de su área, respectivamente), mientras que para la cuenca del río Coatán el mayor porcentaje corresponde al rango muy severa (con 29.87% de su territorio). Poco más de la décima parte del territorio de las cuencas de estudio presentó tasas de pérdida de suelo muy extremas, con valores mayores de 1000 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los resultados obtenidos están relacionados con las condiciones fisiográficas, topográficas y de suelos de las cuencas de estudio, pero particularmente de las condiciones de cobertura

vegetal y magnitud de las lluvias extremas provocadas por el huracán Stan.

**Palabras clave:** erosión hídrica, EUPS, huracán Stan, Chiapas.

## SUMMARY

To assess the water erosion resulting from the extreme rainfall caused by Hurricane Stan in October 2005, in the Huixtla, Huehuetán and Coatán river basins, located in the Mexican state of Chiapas, the Universal Soil Loss Equation (USLE) was applied using the map algebra technique. Maps were prepared for each of the USLE factors for the years 1990 and 2005 (before and after Hurricane Stan), and the USLE was applied at the sub-basin level. In order to classify the erosion results, seven water erosion categories were used: negligible, from 0 to 5; incipient, 5 to 10; moderate, 10 to 50; severe, 50 to 200; very severe, 200 to 500; extreme, 500 to 1000; and very extreme, for values above 1000 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. In November 2005, the largest percentage was concentrated in the severe for the Huixtla and Huehuetán basin (with 39.08 and 20.36% of basin areas). As for the Coatán basin, the highest percentage of soil loss was in the very severe range (with 29.87% of its area belonging to this category). Just over onetenth of the area covered in this study had soil loss rates in the very extreme range, with values above 1000 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. The results obtained are related to the physiographic, topographic and soil conditions of the basins studied, but especially to the vegetation conditions and the magnitude of the extreme rainfall caused by hurricane Stan.

**Index words:** water erosion, USLE, hurricane Stan, Chiapas.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (sperezn@correo.chapingo.mx)

<sup>2</sup> Gerencia Regional Frontera Sur de la Comisión Nacional del Agua. Carretera a Chicoasén km 1.5, Fracc. Los Laguitos. 29029 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso del suelo y los procesos erosivos derivados de ellos tienen influencia en los procesos hidrológicos y biológicos de las cuencas y ecosistemas. La erosión hídrica es uno de los principales problemas ambientales en todo el mundo, particularmente en la modificación del paisaje de las cuencas costeras (Toledo, 2006). La erosión hídrica no sólo afecta la productividad de los terrenos, también tiene impacto aguas abajo a través de la sedimentación y la contaminación provocada por el arrastre de las partículas del suelo (Gómez *et al.*, 2007).

En este sentido, Röder *et al.* (2006), refiere que la disminución de la cobertura vegetal, podría hacer desaparecer la capa protectora del suelo y por consiguiente exponerlo aún más al efecto erosivo de la lluvia. Por una parte, la erosión hídrica baja la capacidad productiva del suelo, disminuye su fertilidad afectando la estabilidad fisiológica de las plantas, además de disgregar material consolidado; por otro lado, en zonas montañosas la erosión hídrica puede causar deslizamiento de suelos, generando sedimentación en el fondo de los valles, arrastre de sólidos y solubles que impactan negativamente los cuerpos de agua y su calidad. Evidentemente todos estos problemas generan directa o indirectamente importantes daños económicos e incluso sociales, lo que justifica y fundamenta la realización de estudios, que sean la base en la toma de decisiones para el control de la erosión hídrica.

La erosión causada por la lluvia se calcula con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo EUPS (o USLE por sus siglas en inglés), desarrollada originalmente por Wischmeier y Smith (1978), (Ecuación 1) y adaptada para su uso en México por Figueroa *et al.* (1991).

$$Ps = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Donde:  $Ps$  es la pérdida de suelo en  $Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ;  $R$  es el factor de erosividad de la lluvia en  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$ ;  $K$  es el factor de erodabilidad del suelo en  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$ ;  $LS$  es el factor de longitud y grado de la pendiente (adimensional);  $C$  es el factor del manejo de vegetación (adimensional) y  $P$  es el factor de prácticas de manejo (adimensional).

La erosividad, se refiere al potencial energético de las gotas de lluvia para desprender las partículas del suelo y provocar la erosión, la cual se mide con los índices de

erosividad. Los índices de erosividad más importantes y de mayor aplicación son el de Wischmeier ( $EI_{30}$ ), Hudson ( $KE > 25$ ), Lal ( $AI_m$ ) y Fournier (F) modificado por Arnoldus. El factor  $R$  de la EUPS se calcula con la sumatoria de los índices  $EI_{30}$  de los eventos de lluvia durante el año. La estimación del factor  $R$  en México en función de la precipitación media anual ( $Pp$ , en mm) es diferente y es propuesto por Figueroa *et al.* (1991). Para la cuenca del río Huehuetán Chiapas, Baumann y Arellano (2003), proponen para calcular  $R$  la Ecuación 2.

$$R = 14.523 Pp - 6601 \quad (2)$$

El factor de erodabilidad  $K$ , incorpora la susceptibilidad del suelo a la erosión. Los valores del factor  $K$  se calculan con la Ecuación 3 propuesta por Wischmeier y Smith (1978), en la que  $M$  es el parámetro que depende del tamaño de las partículas del suelo;  $a$  es el contenido de materia orgánica (%) del suelo;  $b$  es un parámetro que depende de la estructura del suelo y  $c$  del tipo de permeabilidad o conductividad hidráulica del perfil del suelo.

$$K = 0.1317 \left[ \frac{2.1 \times 10^4 (12 - a) \times M^{1.14} \times 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)}{100} \right] \quad (3)$$

El factor  $LS$  incorpora el efecto de la topografía de un terreno (longitud y pendiente) que afecta significativamente la pérdida de suelo por erosión hídrica. El factor topográfico  $LS$  se calcula con la Ecuación 4, en la que  $L_h$  es la longitud de la pendiente del terreno (m);  $m$  es un término exponencial (adimensional) y  $\alpha_h$  es el ángulo de la pendiente.

$$LS = \left( \frac{L_h}{22.1} \right)^m (65.41 \times \text{sen}^2 \alpha_h + 4.56 \times \text{sen} \alpha_h + 0.065) \quad (4)$$

Para determinar la distribución espacial del parámetro  $C$ , es necesario conocer con detalle el uso actual del suelo, para lo que se recurre al uso de imágenes de satélite y su verificación en campo. Para la determinación del factor  $C$  según la cobertura vegetal se proponen 15 valores para diferentes usos del suelo en la Sierra Madre de Chiapas.

El factor  $P$ , representa el efecto de las prácticas de conservación de suelo y agua. El valor de  $P$  se encuentra

entre 0 y 1 (adimensional). Para los propósitos de este trabajo, se considera  $P = 1$ ; es decir, sin prácticas de conservación.

Debido a su estructura, el modelo de la EUPS puede evaluarse mediante la técnica de álgebra de mapas, si se genera un plano base debidamente georeferenciado para cada uno de los parámetros de la ecuación. Dicha técnica consiste en la multiplicación de los valores de cada parámetro de la EUPS correspondientes al mismo pixel en el plano respectivo. Actualmente, el uso de esta técnica es más factible y sencillo con el empleo de las tecnologías que utilizan imágenes de satélite para determinar el uso del suelo, los Modelos de Elevación Digital (MDE) para mostrar y analizar la topografía del terreno, y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la operación de la información y la generación de mapas de erosión hídrica a nivel de cuencas hidrográficas (Mellerowicz *et al.*, 1994).

La aplicación de la EUPS a nivel de cuencas hidrológicas, permite la estimación promedio anual de la pérdida de suelo para la planificación y jerarquización de áreas prioritarias que coadyuve a acciones para su reducción o mitigación a través de las prácticas de conservación de suelo y agua (Mellerowicz *et al.*, 1994; Kinnell, 2005; Gómez *et al.*, 2007).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto del huracán Stan en la erosión hídrica de las Cuencas Huixtla, Huehuetán y Coatán del estado de Chiapas, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, mediante la técnica de Álgebra de Mapas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las cuencas de los Ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, son parte de la Región Hidrológica 023 Costa de Chiapas y se ubican en la región agrícola del Soconusco, Chiapas, en la frontera sur de México. El área de estudio presenta las siguientes coordenadas geográficas: en el extremo superior izquierdo  $15^{\circ} 23' 15''$  N y  $92^{\circ} 28' 49''$  O y el extremo inferior derecho  $14^{\circ} 53' 36''$  N y  $91^{\circ} 56' 59''$  O. Esta región se caracteriza por la presencia de suelos profundos de origen volcánico muy intemperizados, en laderas escarpadas de la cuenca superior y de aluvión en la planicie costera; las condiciones climáticas prevaletantes son del trópico húmedo con láminas anuales promedio de precipitación de 4200 mm (Baumann y Arellano, 2003).

Se aplicó la EUPS mediante la técnica de Álgebra de Mapas, para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en las cuencas de los Ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, del estado de Chiapas, México, afectadas por las lluvias del huracán Stan en octubre de 2005 para las condiciones de uso del suelo en febrero de 1990 y febrero de 2005 (antes del huracán Stan) y noviembre de 2005 (después del huracán Stan).

La caracterización de las cuencas se hizo utilizando el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) como una extensión del Arc View (ESRI, 2006) y empleando la información del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) obtenido del INEGI escala 1:10 000 y de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (CONAGUA, 2006). Las superficies medidas para las cuencas Huixtla, Huehuetán y Coatán fueron de 355.2739 km<sup>2</sup>, 320.1571 km<sup>2</sup> y 462.0896 km<sup>2</sup>, respectivamente; en ellas se definieron para su caracterización 53, 37 y 65 microcuencas.

El uso de suelo se determinó para 1990 con imágenes de satélite Landsat 4 TM y para 2005 con imágenes de satélite Spot, analizadas con el programa Idrisi Kilimanjaro (IDRISI, 2008) con la técnica de clasificación supervisada, definiendo áreas de entrenamiento en campo en las zonas de estudio con los siguientes tipos de vegetación: Selva Mediana Subcaducifolia, Bosque Pino-Encino, Bosque Encino-Pino, Uso Agrícola con Cultivos Permanentes como mango y café y, Suelo Desnudo, mediante la identificación de áreas de tamaño suficiente para que se pudieran visualizar en las imágenes satelitales. Con base en los tipos de uso del suelo dominantes en las cuencas de estudio, se determinaron 13 clases de uso del suelo. Se realizaron muestreos de suelos en 24, 17 y 18 sitios para las Cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, respectivamente, determinándose en el laboratorio los siguientes parámetros: textura, contenido de materia orgánica y porcentaje de arena fina para estimar el parámetro  $K$ , según la Ecuación 3.

Se estimó el gasto pico provocado por las lluvias extremas del huracán Stan mediante el uso del modelo HEC-HMS (USACE, 2006) con base en los valores de lluvias registrados en los pluviógrafos ubicados en la Finca Argovia y Estación UNACH en la Cuenca del Río Huehuetán (CONAGUA, 2006). La simulación se hizo para febrero de 1990, febrero del

2005 y noviembre de 2005 para identificar el efecto de la cobertura vegetal en el caudal pico.

Para la estimación de la tasa de erosión, se determinaron los factores de la EUPS, tanto para 1990 como para 2005 (febrero y noviembre). El factor  $R$  se determinó con la Ecuación 2 propuesta por Baumann y Arellano (2003), utilizando los datos de precipitación anual de 12 estaciones meteorológicas ubicadas en las cuencas en estudio; con los valores de  $R$  se elaboraron los planos de *isoerodentas* de cada cuenca. El parámetro  $K$  se calculó a partir de los datos del muestreo de suelos utilizando la Ecuación 3. El factor  $LS$  se calculó con la aplicación de la Ecuación 4 mediante el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) generado a partir de las cartas vectoriales utilizando los programas ArcView (ESRI, 2006) y ArcMap (ESRI, 2008), dividiendo las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán en 325, 156 y 504 áreas tributarias, respectivamente. El parámetro  $C$ , se determinó a partir de las clases de uso de suelo identificadas en las imágenes de satélite, previa verificación de su huella espectral en campo y aplicando los valores de  $C$  propuestos por CONAGUA (2006) para cada uso del suelo. El factor  $P$ , con fines de comparación entre escenarios se consideró igual a 1; es decir, sin prácticas de conservación de suelo y agua en las tres cuencas de estudio.

Con los resultados de cada uno de los parámetros de la EUPS, se generaron mapas con valores discretos o planos con isolíneas como el de *isoerodentas*, que se multiplicaron algebraicamente mediante el uso de la herramienta Map Calculator de la extensión Spatial Analyst de ArcView (ESRI, 2006), para obtener un mapa de tasas de erosión para cada cuenca y para cada uno de los cuatro escenarios analizados y definidos de la siguiente forma: escenario 0 con los valores de los parámetros  $C$  y  $R$  correspondientes a febrero de 1990; escenarios 1 al 3 con uso de las lluvias del huracán Stan en la estimación de  $R$ , con el parámetro  $C$  para el uso del suelo, de febrero de 1990 para el escenario 1, con el parámetro  $C$  para el uso del suelo de febrero de 2005 para el escenario 2 y con el parámetro  $C$  para el uso del suelo de noviembre de 2005 para el escenario 3. Para los cuatro escenarios, los parámetros  $K$ ,  $LS$  y  $P$  fueron los mismos. Para

la clasificación de los resultados de pérdida de suelo obtenidos se consideraron las siguientes categorías: nula de 0 a 5, incipiente de 5 a 10, moderada 10 a 50, severa de 50 a 200, muy severa de 200 a 500, extrema de 500 a 1000 y muy extrema para mayores de 1000 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAGUA, 2006).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los escurrimientos pico estimados fueron de 2146.95, 2544.00 y 2794.80 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, para los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, respectivamente, que son acordes a su precipitación y a las condiciones de cobertura y pendiente de los respectivos ríos y cuencas.

El uso de suelo en los escenarios de estudio fue: en 1990 para la Cuenca Huixtla predominaron la Selva Mediana Subcaducifolia (SMSC/VS) en un 45.69%, el Bosque Pino-Encino (BPQ) en un 13.38% y Uso Agrícola con Cultivos permanentes como mango y café (UA-CP) en un 10.35% para un total de 69.42% y que para después del huracán Stan, la cobertura se redujo al 18.27%. Para la Cuenca Huehuetán, en 1990, las clases de mayor cobertura fueron la SMSC/VS con un 37.84%, el UA-CP con un 23.44% y el Bosque Encino-Pino (BQP) con un 12.72% para un total del 74%; para febrero de 2005, estas clases habían cambiado sus coberturas a 28.67, 23.21 y 9.00%, respectivamente, con una reducción del 13%, particularmente afectada la SMSC/VS. Para la cuenca del río Coatán, las tres clases con mayor cobertura en 1990 fueron: SMSC/CP con 20.76%, suelo desnudo (S-DESN) con 20.69% y el BQP con 17.63% para un total de 59.08% de cobertura. En el 2005, el área de influencia de estas clases cambiaron a 7.35, 10.68 y 28.12%, respectivamente, para un total del 46.15% de cobertura. Las imágenes de la Figura 1, muestran el uso del suelo, para la cuenca del Río Huehuetán, en febrero 1990, en febrero de 2005 y en noviembre de 2005, respectivamente, en los tres escenarios analizados, donde se aprecian las variaciones indicadas.

Los resultados de las tasas de pérdida de suelo por erosión hídrica para las tres cuencas estudiadas y los cuatro escenarios analizados se presentan en el Cuadro 1 y en la Figura 2. El mapa de erosión para

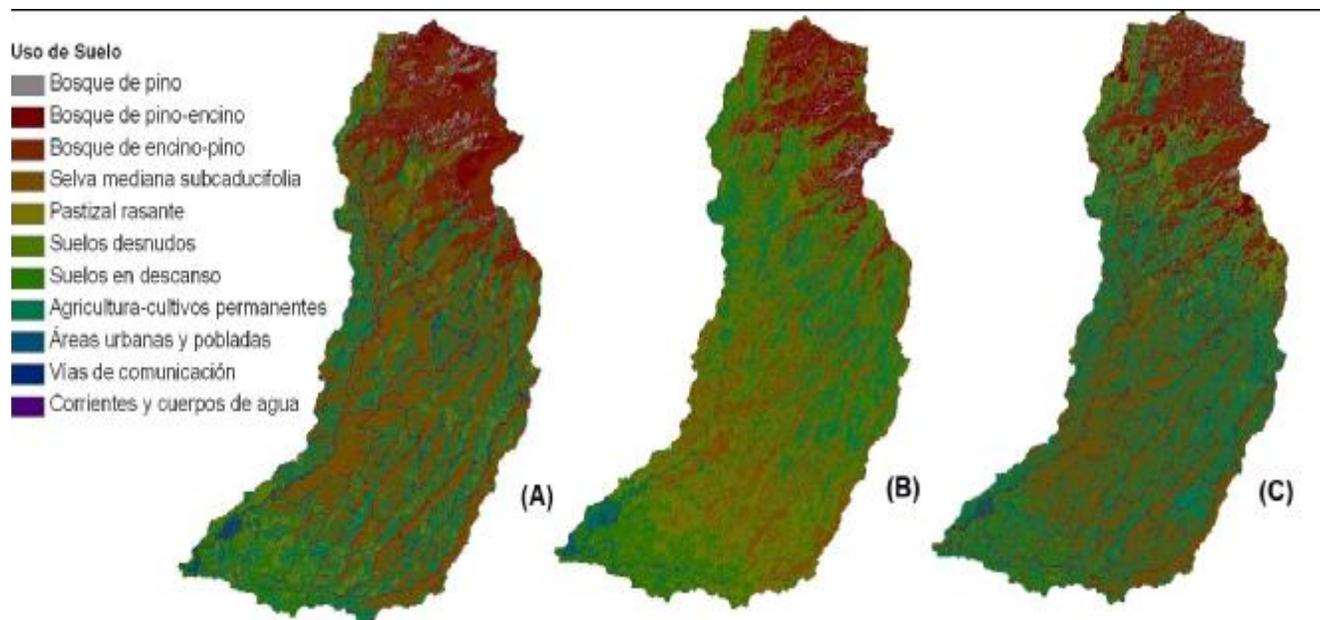


Figura 1. Uso de suelo en febrero de 1990 (A), febrero (B) y noviembre (C) de 2005 en la cuenca del Río Huehuetán, Chiapas.

Cuadro 1. Tasa de erosión por superficie afectada para los cuatro escenarios y para las tres cuencas.

Tasa de erosión Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Cuenca	Escenario 0		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
		km <sup>2</sup>	%						
00-05	Huixtla	30.84	8.73	28.69	8.12	18.41	5.21	38.61	10.93
	Huehuetán	41.96	13.21	37.74	11.88	29.79	9.38	37.73	11.88
	Coatán	27.95	6.06	27.89	6.05	33.47	7.26	39.12	8.48
05-10	Huixtla	3.52	1.00	2.39	0.68	2.50	0.71	1.75	0.50
	Huehuetán	15.98	5.03	13.72	4.32	16.11	5.07	13.72	4.32
	Coatán	5.20	1.13	4.39	0.95	5.03	1.09	5.07	1.10
10-50	Huixtla	48.77	13.81	20.71	5.86	18.61	5.27	28.71	8.13
	Huehuetán	43.83	13.80	37.41	11.78	32.64	10.28	40.17	12.65
	Coatán	41.08	8.91	38.87	8.43	27.36	5.93	27.01	5.86
50-200	Huixtla	169.45	47.97	124.83	35.34	108.85	30.82	138.04	39.08
	Huehuetán	90.56	28.52	85.79	27.01	78.82	24.82	64.65	20.36
	Coatán	122.01	26.45	116.31	25.21	88.10	19.10	113.92	24.70
200-500	Huixtla	61.49	17.41	111.05	31.44	94.02	26.62	76.83	21.75
	Huehuetán	63.09	19.87	66.27	20.87	63.41	19.97	57.47	18.10
	Coatán	107.48	23.30	111.69	24.21	114.93	24.91	137.77	29.87
500-1000	Huixtla	23.48	6.65	31.59	8.94	39.12	11.08	20.72	5.87
	Huehuetán	25.89	8.15	32.35	10.19	34.58	10.89	39.07	12.30
	Coatán	32.33	7.01	35.51	7.70	62.40	13.53	60.20	13.05
> 1000	Huixtla	15.67	4.44	33.96	9.61	71.71	20.30	48.56	13.75
	Huehuetán	36.27	11.42	44.30	13.95	62.23	19.60	64.77	20.39
	Coatán	125.24	27.15	126.63	27.45	130.00	28.18	78.20	16.95
Totales	Huixtla	353.22	100.00	353.22	100.00	353.22	100.00	353.22	100.00
	Huehuetán	317.58	100.00	317.58	100.00	317.58	100.00	317.58	100.00
	Coatán	461.29	100.00	461.29	100.00	461.29	100.00	461.29	100.00

Escenario 0 = febrero de 1990 antes del huracán Stan; Escenario 1 = febrero de 2005 después del huracán Stan; Escenario 2 = febrero de 2005; Escenario 3 = noviembre de 2005.

el escenario 3, para la cuenca Huixtla (Figura 2), es del tipo que se elaboraron para los 12 casos de estudio.

Para la simulación correspondiente a noviembre de 2005, el menor porcentaje de superficie afectada por erosión corresponde a la categoría de erosión incipiente de ( $5$  a  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), con valores de  $0.50\%$  en Huixtla,  $4.32\%$  en Huehuetán y  $1.10\%$  para Coatán.

El mayor porcentaje de superficie afectada por erosión se concentra en el rango de severa de ( $50$  a  $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), para las cuencas Huixtla y Huehuetán, con una marcada diferencia entre ellas:  $39.08\%$  en Huixtla y  $20.36\%$  en Huehuetán, mientras que en Coatán el mayor porcentaje se concentra en la categoría de muy severa de ( $200$  a  $500 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) con un  $29.87\%$  de superficie afectada. Alrededor de una décima parte de las cuencas ( $10.93\%$  para Huixtla,  $11.88\%$  para Huehuetán y  $8.48\%$  para Coatán), presentan una erosión nula (de  $0$  a  $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Valores de pérdida de suelo mayores de  $1000 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$

representan un  $13.75$ ,  $20.39$  y un  $16.95\%$  para las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, respectivamente.

Al comparar los cuatro escenarios (Figura 3), se observa que el escenario 0 presenta una mayor superficie de afectación, con valores menores de  $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y en general disminuye en las tres cuencas; este comportamiento, es más marcado en la cuenca Huixtla, donde en el escenario 0, un  $28.5\%$  de la cuenca presentó valores mayores de  $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  mientras que en el escenario 3 (después del huracán Stán), un  $41.37\%$  de la cuenca presenta ya valores de pérdida de suelo mayores de  $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  debido a los cambios en la cobertura vegetal (factor  $C$ ) y el impacto de las lluvias extremas del huracán Stan (factor  $R$ ). Los resultados de pérdida de suelo por erosión hídrica estimados en las cuencas de estudio, son análogos a los reportados por CONAGUA (2006) para las cuencas de la Sierra Madre de Chiapas.

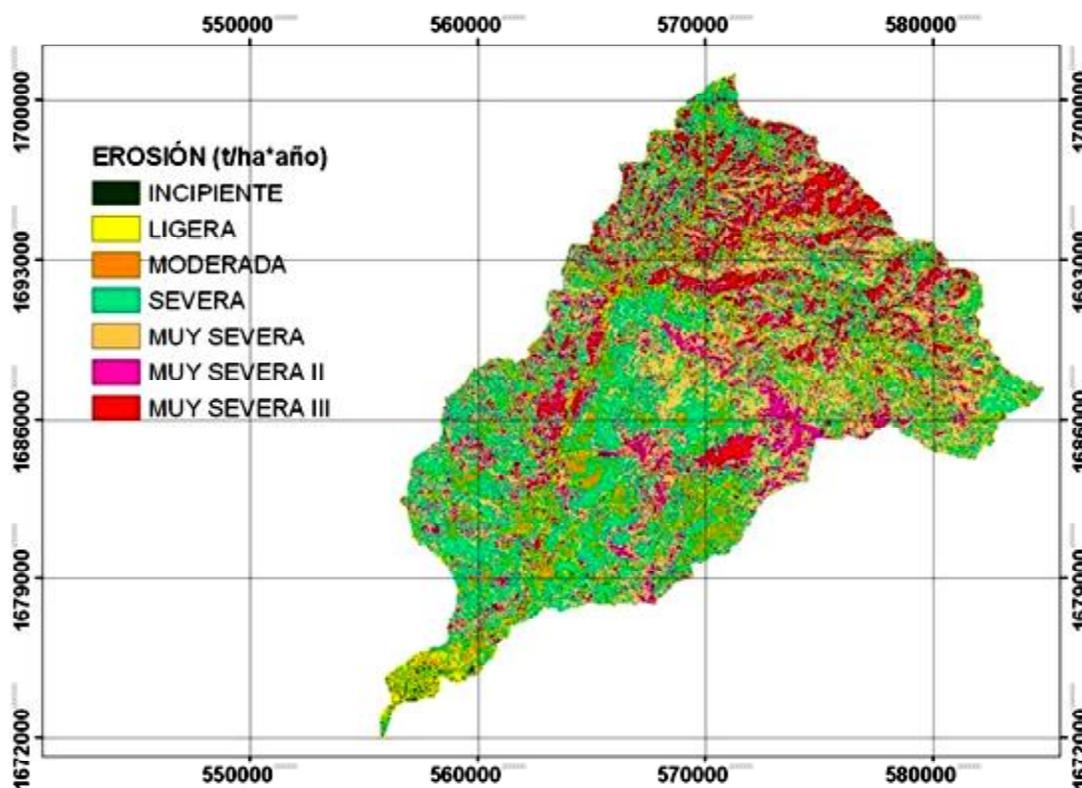


Figura 2. Mapa de erosión para el escenario 3 en la cuenca del río Huixtla.

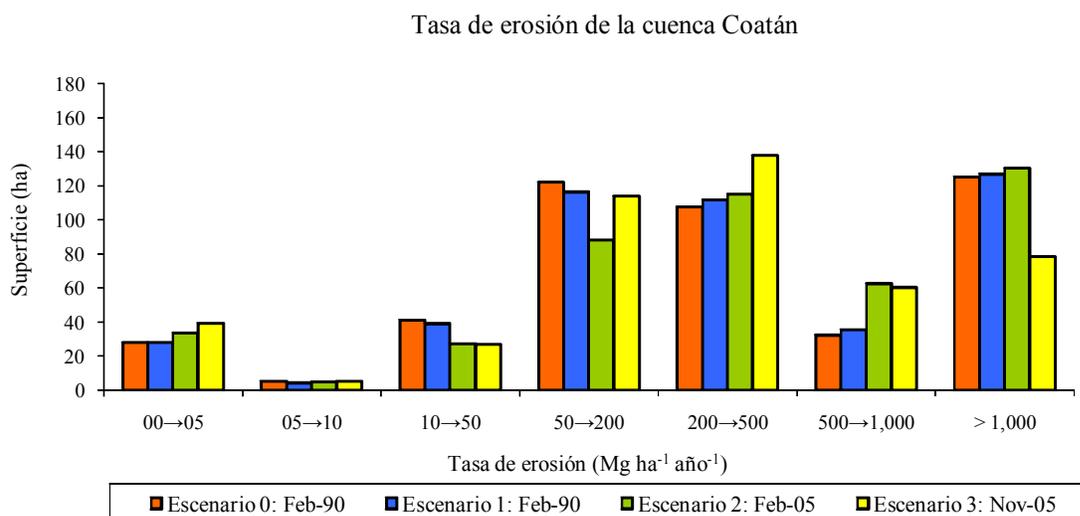
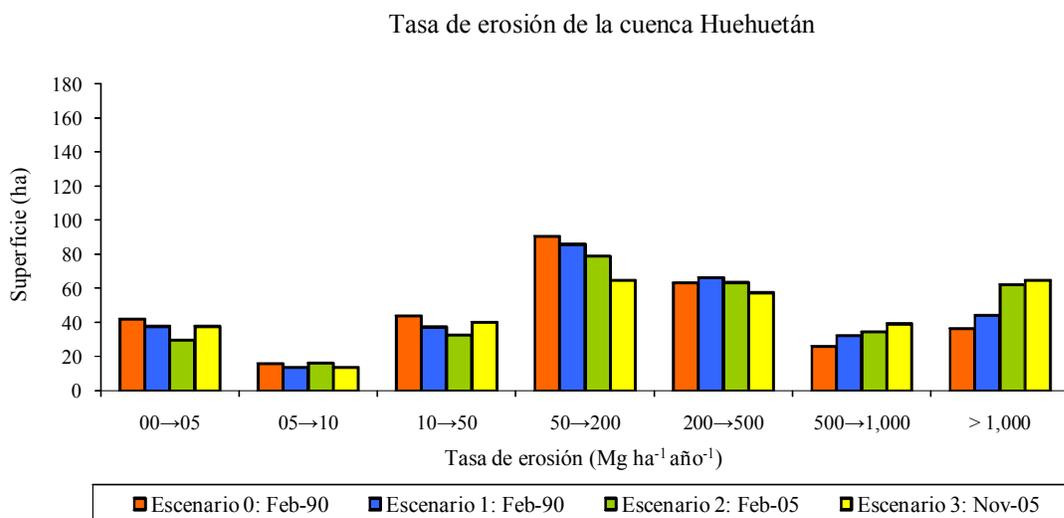
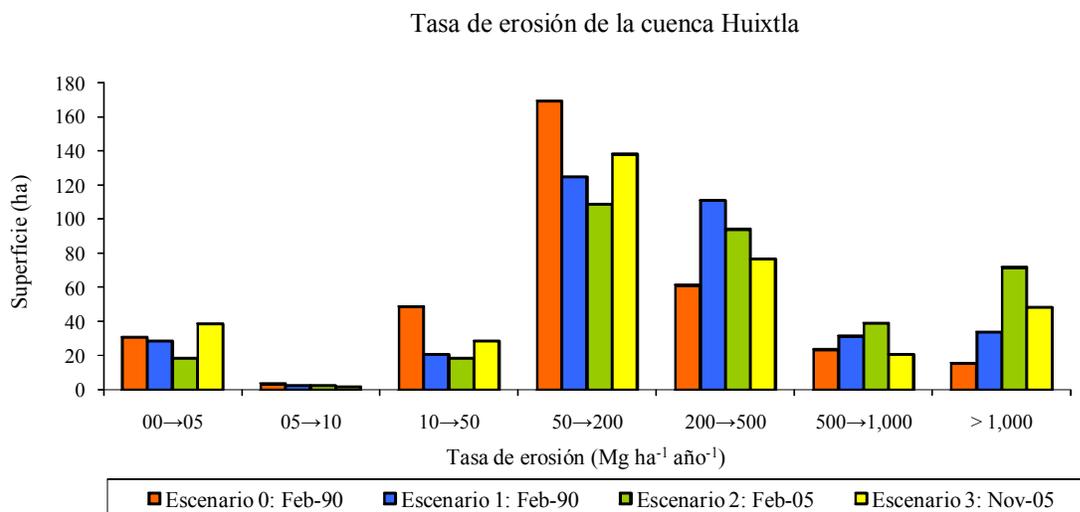


Figura 3. Distribución de las tasas de pérdida de suelo para las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán.

## CONCLUSIONES

- La técnica de Álgebra de Mapas, resultó una herramienta adecuada para la aplicación de la EUPS, en la estimación de la erosión hídrica al operar un mapa por cada factor de la ecuación.
- Es necesaria una calibración *in situ* de los valores del factor *C* así como de la pérdida de suelo debido a la complejidad de los sistemas de cultivo de la región y a las condiciones propias de lluvia, suelos y topografía.
- Las cuencas de los ríos Huixtla y Coatán presentan un comportamiento heterogéneo y análogo en la superficie afectada en diferentes categorías de pérdida de suelo; en contraste, la cuenca del río Huehuetán presenta un comportamiento más uniforme entre categorías y entre escenarios, lo cual corresponde a su configuración topográfica y fisiográfica, pero particularmente a las mejores condiciones de cobertura vegetal de la cuenca.

## LITERATURA CITADA

- Baumann J. and J.L.L. Arellano-Monterrosas. 2003. Measuring rainfall erosivity characteristics and annual R-factors for adjustment of the USLE in a tropical climate. pp. 69-74. *In*: D. Gabriels and W. Cornelis (eds.). 25 years of assessment of erosion-proceedings. Ghent, Belgium.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Evaluación de los efectos del cambio de cobertura y de uso del suelo en la erosión hídrica y las relaciones precipitación-escorrentía en las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán del estado de Chiapas. Informe final del Convenio de Colaboración Específico núm. SGIH-FS-CHS-06-TT-193-RF-CC elaborado entre la Gerencia Regional Frontera Sur de la Comisión Nacional del Agua y la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Eastman, R. 2006. IDRISI, Kilimanjaro edition. University George Perkins Marsh Institute at Clark University. Worcester, MA, USA.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2006. ArcView GIS 3.2. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA, USA.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2008. ArcGIS 9/ArcMap version 9.3. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA, USA.
- Figueroa S., B., A. Amante O., H. G. Cortés T., J. Pimentel L., E. S. Osuna C., J. M. Rodríguez O. y F. J. Morales F. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México, México.
- Gómez Jiménez, I., R. Romero Calcerrada y J. M. Beneitez López. 2007. Consideración de la dinámica espacio-temporal para la definición de actuaciones defensivas contra la erosión. *Rev. Int. Cien. Tec. Infor. Geográf.* 7: 1-22.
- Kinnell, P. I. A. 2005. Why the universal soil loss equation and the revised version of it do not predict event erosion well. *Hydrol. Proc.* 19:851-854.
- Mellerowicz, K. T., H. W. Rees, T. L. Chow, and I. Ghanem. 1994. Soil conservation planning at the watershed level using the Universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: A case study. *J. Soil Water Conserv.* 49:194-200.
- Röder, J., R. Villavicencio García y P. Zarazúa Villaseñor. 2006. Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo «USLE» en SIG para estimar riesgo potencial de erosión en el área protegida «sierra de Quila». pp. 156-162. *In*: XVII Semana de la Investigación Científica. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Toledo, Alejandro. 2006. Agua, hombre y paisaje. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.
- USACE (United States Army of Corps Engineers). 2006. Hydrologic modeling system HEC-HMS. User's manual. Version 3.1. Hydrologic Engineering Center. Davis, CA, USA.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science, and Education Administration. Washington, DC, USA.