

MAPA DE EROSIÓN POTENCIAL EN LA CUENCA HIDROLÓGICA GRIJALVA-USUMACINTA MÉXICO MEDIANTE EL USO DE SIG

Map of potential erosion in the Grijalva-Usumacinta hydrological basin, Mexico, using GIS

Rufo Sánchez-Hernández , Juan de Dios Mendoza-Palacios, Julio Cesar De la Cruz Reyes, Juan Enrique Mendoza Martínez, Rodimiro Ramos-Reyes

(RSH) (JDMP) División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
rusaher@hotmail.com

(JCCR) (JEMM) División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

(RRR) Unidad Villahermosa. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Artículo recibido: 21 de febrero de 2013, **aceptado:** 03 de junio de 2013

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue generar mapas temáticos de los factores que provocan la erosión en la cuenca Grijalva-Usumacinta. Se obtuvieron mapas de Precipitación (PMA), Uso actual de suelo (UAS), Pendiente de las geoformas (PPG) y Clases de suelos (CS). La magnitud del riesgo de erosión provocada por cada factor fue categorizada mediante escalas numéricas. A través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se interpolaron los mapas obtenidos, y se generó un mapa de erosión potencial (EP) en el cual se establecieron tres niveles de riesgo; Alto (A), Medio (M) y Bajo (B). Se observó que más del 50 % de la cuenca tiene geoformas onduladas y escarpadas. Los suelos son predominantemente someros, los cuales son fácilmente erosionables cuando se asocian a precipitaciones intensas. Se identificaron áreas con cobertura vegetal selvática en la parte Sureste de la cuenca y de bosques mesofílos de pino y encino en la parte Central y Sur respectivamente. El mapa de EP de la cuenca indicó que más de 7 millones de hectáreas (83 %) presentan riesgo de erosión de Medio a Alto, acentuándose en la parte Centro y Suroeste, mientras que en la parte Norte y Noreste se localizan 1.5 millones de hectáreas (17 %) que presentan riesgo bajo de erosión.

Palabras clave: Imágenes satelitales; Factores erosivos; riesgo de erosión.

ABSTRACT. The purpose of this study was to prepare thematic maps of the factors that generate erosion in the Grijalva-Usumacinta basin. Maps for Rainfall (PMA), Present Use of the Soil (UAS), Landform Slopes (PPG) and Soil Classes (CS) were obtained. The magnitude of erosion risk caused by each factor was categorised by numerical scales. Using a Geographic Information System (GIS), the maps that were obtained were interpolated and a potential erosion map (EP) was generated with three levels of risk: High, Medium and Low. It was observed that more than 50 % of the basin has undulated and steep landforms. The soils are mainly shallow and are easily eroded when associated with intense rainfall. Areas were identified with tropical forests in the southeastern region of the basin, and with pine and oak cloud forests in the central and southern regions respectively. The EP map of the basin indicated that more than 7 million hectares (83 %) present a risk of erosion from Medium to High, particularly in the central and southwestern regions, while in the northern and northeastern regions there are 1.5 million hectares (17 %) with a low risk of erosion.

Key words: Satellite images, erosive factors, risk of erosion.

INTRODUCCIÓN

La erosión es definida como la remoción de suelo por agentes como la lluvia o el viento. Constituye el problema más severo de degradación, ya que aproximadamente el 80 % de la superficie del

planeta presenta éste fenómeno (106 440 000 km²), lo que ha provocado que cada año los ríos transporten al océano 24,000 millones de toneladas de tierra cultivable (Alvarado-Cardona *et al.* 2007). Las causas más frecuentes de dicha degradación son el sobrepastoreo, la deforestación y las malas

prácticas agrícolas (SEMARNAT 2002). A nivel mundial, se estimó que para el año 2010, cerca de 140 millones de hectáreas de suelo de buena calidad presentaban algún nivel de degradación, principalmente en África y Asia (Alvarado-Cardona *et al.* 2007). De acuerdo con Ruiz & Febles (2004) la erosión representa un importante problema social y económico y es un factor determinante en el deterioro de los sistemas terrestres. En el caso particular de México, el escenario es similar, alrededor de 144 millones de hectáreas equivalentes al 75 % del total nacional, están afectadas por la erosión; de las cuales 15.9 millones se consideraban con daños severos y sólo 44.2 millones de hectáreas se consideran en un nivel incipiente o no manifiesta (Nieves *et al.* 2001). De acuerdo con Wischmeier & Smith (1978) el riesgo de erosión o erosión potencial se define como el efecto combinado de los factores causales como lluvia, escurrimiento, suelo y topografía. La combinación de estos factores se integra en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), aunque los mismos autores reconocen que la EUPS fue desarrollada para aplicarse en parcelas, por lo que su empleo en áreas mayores como es el caso de una cuenca hidrográfica requeriría de algunas modificaciones. Montes-León (2002) presentó una metodología basada en una modificación de la EUPS; utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para realizar interpolaciones de mapas representativos de los factores que provocan la erosión, con el propósito de generar un mapa de erosión potencial. Al respecto, Fu *et al.* (2005) señalaron que la EUPS es un método para el cálculo de la erosión que presenta algunas limitaciones, debido a la heterogeneidad espacial, la precisión, el factor de escala, entre otros. Por ello, es necesario aplicar algunos modelos físicos para identificar los procesos de transporte y deposición de sedimentos en áreas a gran escala; de ahí la relevancia de los SIG, que son herramientas tecnológicas que han contribuido ampliamente en la aplicación y cálculo de dichos modelos. Cohen *et al.* (2005) generaron mapas de erosión potencial a través de la interpolación de capas de datos espaciales utilizando métodos estándar de percepción remota. Sin embargo, estos investigadores precisan que antes de usar los

resultados en la toma de decisiones, es necesario validarlos a través de esquemas de muestreos para ser usados en conjunción con modelos estadísticos flexibles basados en los factores de la EUPS; así mismo señalaron que la intervención eficiente para el control de la erosión en áreas de laderas tropicales, requiere de modelos de ajuste para predecir la ubicación espacial e intensidad de la degradación. En la actualidad existen experiencias en el uso de SIG para la generación de mapas de erosión potencial (Muchoney & Haack 1994; Lambin 1996). En razón de la importancia que tiene la cuenca Grijalva-Usumacinta en el ámbito social, económico y ambiental, el presente trabajo tuvo como objetivo generar un mapa de erosión potencial (EP) a partir de la interpolación de mapas temáticos de los factores que provocan la erosión de suelo (PMA, UAS, PPG y CS) mediante el uso de un SIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio incluyó el 66 % de la región hidrológica transfronteriza número 30, que se encuentra entre los países de México y Guatemala. El trabajo se desarrolló en la parte de la Cuenca Grijalva-Usumacinta que se localiza en territorio mexicano. Ésta porción considera parte de los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche, Oaxaca y Veracruz y geográficamente está comprendida entre los paralelos $15^{\circ} 15' 32.8''$ y $18^{\circ} 38' 54''$ de Latitud Norte y los meridianos $90^{\circ} 22' 27''$ y $94^{\circ} 14' 04''$ de Longitud Oeste, con una extensión territorial de 87 143.898 km². Está limitada al Norte por el Golfo de México, al Este por la República de Guatemala, al Noreste por la Cuenca Laguna de Términos, al Sur por la región hidrológica número 23 Costa de Chiapas y al Oeste por la región hidrológica numero 29 Coatzacoalcos.

Procesamiento y generación de mapas temáticos

Mapa de Precipitación Media Anual (PMA). Se recabaron datos climáticos de 237 estaciones hidrometeorológicas operadas por distintas entidades gubernamentales como la Comisión Nacional

del Agua (CONAGUA), Sistema Meteorológico Nacional (SMN) e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Con esta información se realizaron interpolaciones a través de los SIG ArcInfo y Arcview para determinar la distribución e intensidades de las lluvias en el área de estudio. Se usó el criterio propuesto por Alvarado-Cardona *et al.* (2007) para clasificar el mapa según la erosividad de la lluvia, dicho criterio consiste en considerar como lluvias erosivas a los eventos con intensidades superiores a 50 mm h^{-1} y donde se acumulan más de 600 mm de lluvia al año. Para la elaboración de el mapa de precipitación se utilizó el método Kriging por ser el que tiene mejor desempeño sobre datos pluviográficos (Cisneros *et al.* 1998).

Porcentaje de Pendiente de las Geoformas (PPG). El mapa de pendiente se obtuvo a partir del procesamiento del Modelo Digital de Elevación Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con una resolución de 90 m. Se obtuvo un raster preliminar mediante la herramienta Spatial Analyst-Slope de la plataforma ArcGis versión 9.3. Para la presentación de los rangos adecuados de dicho raster, se le aplicó una reclasificación de valores, mediante la herramienta Reclassify del módulo Spatial Analyst Tools siguiendo la metodología utilizada por Díaz *et al.* (1999). Para la clasificación de las pendientes se usó el criterio propuesto por Alvarado *et al.* (1982) el cual utiliza el porcentaje de pendiente y le da una nomenclatura, tal como se indica: de 0 a 2 % es plano, de 2 a 5 % es ligeramente ondulado, de 5 a 10 es ondulado, de 10 a 25 % es muy ondulado y mayores a 25 % es escarpado.

Clases de Suelos (CS) y Uso Actual de Suelo (UAS). Ambos mapas fueron procesados mediante el Software Arc Gis 9.3. Se realizó una clasificación supervisada de imágenes Spot 5 del año 2008. La sistematización de los suelos fue actualizada e integrada de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo referida como la WRB (ISRIC/SICS/FAO, 2006). Se identificaron los usos del suelo y se generó un mapa en el cual se realizó una sobre posición del mapa de clasificación de suelo presentado por Ramírez *et al.* (2009). Cada

mapa fue categorizado mediante escalas numéricas, en las que los valores bajos representaron riesgos bajos de erosión, mientras que los valores más altos representaron los riesgos más altos. De esta manera, el mapa de EP, se obtuvo como la suma algebraica de los cuatro mapas (Ecuación 1).

$$EP = PMA + PPG + CS + UAS \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

EP= Erosión potencial. PMA= Coeficiente que depende de la precipitación media anual. UAS= Coeficiente que depende del Uso Actual del Suelo. PPG= Coeficiente que depende del Porcentaje de Pendiente de la Geoforma. CS= Coeficiente dependiente de la Clase de Suelo.

RESULTADOS

Precipitación media anual (PMA)

Los resultados de este trabajo indicaron que prácticamente en toda la cuenca Grijalva-Usumacinta se registran lluvias que superan los 600 mm al año con presencia de eventos cuyas intensidades superan los 50 mm h^{-1} , por lo tanto se consideraron como erosivas de acuerdo al criterio propuesto por Alvarado-Cardona *et al.* (2007). (Figura 1).

Uso actual del suelo (UAS)

El mapa de uso actual de suelo (Figura 2) indicó que los usos más frecuentes son el agrícola, pecuario y forestal, los cuales se distribuyen en toda la cuenca, cubriendo una superficie de 2 863 151 hectáreas (33 %). En orden de importancia, le siguen la selva alta perennifolia y sub perennifolia con 2 081 381 hectáreas (24 %). Hacia la parte Suroeste y Centro-Sur de la cuenca se encuentra una importante zona de bosques de encino, bosques mesófilos de montaña y bosques de pino, la suma de la superficie de estos tres ecosistemas asciende a 1 694 905 hectáreas (20 %). Hacia la parte Noreste de la cuenca, entre los estados de Tabasco y Campeche se encuentran áreas ocupadas por selva mediana y baja perennifolia y sub perennifolia que en conjunto

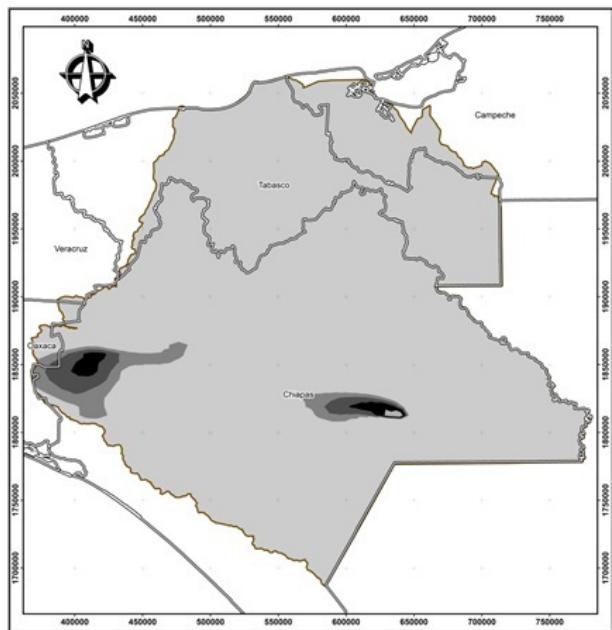


Figura 1. Mapa representativo de la distribución de la Precipitación Media Anual en la Cuenca Grijalva-Usumacinta. Símbolos: ■ < 500 mm; ■■ 500-700 mm; ■■■ 700-800 mm; ■■■■ 800-900 mm; ■■■■■ > 900 mm; □ Límite estatal; □□ Límite municipal. Atributos especiales: Elipsode: WGS 84, Proyección: Universal Tranversa de Mercator, Cuadrícula: UTM cada 50 Km, datum horizontal: WGS 84; Escala: 1:1,094,616

Figure 1. Representative map of the annual mean rainfall distribution in the Grijalva-Usumacinta basin. Symbols: ■ < 500 mm; ■■ 500-700 mm; ■■■ 700-800 mm; ■■■■ 800-900 mm; ■■■■■ > 900 mm; □ State limit; □□ Municipal limit. Specials attributes: Ellipsoid: WGS 84, Projection: Mercator Transversal Universal, Grid: UTM every 50 km, horizontal datum: WGS 84; Scale: 1:1,094,616

llegan a sumar 972 071 hectáreas equivalentes al 11 % del total de la superficie. En la parte Norte de la cuenca se encuentran extensas áreas de popales y tulares, y hacia la franja costera también algunas áreas de manglares, en conjunto estos usos de suelo llegan a sumar 658 275 hectáreas, y aunque representan solo el 7.58 % del área total de la cuenca, su importancia es fundamental ya que integran la unidad de almacenamiento energético más importante de Mesoamérica. El resto de la superficie correspondió a otros seis usos de suelo identificados.

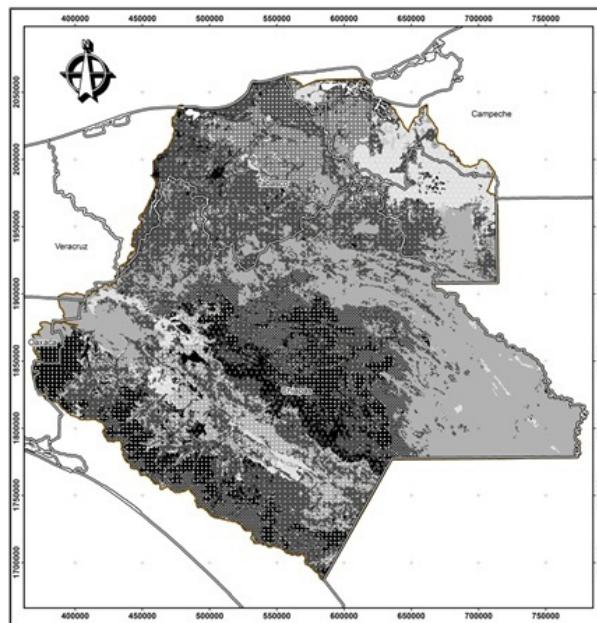


Figura 2. Mapa de la distribución del Uso Actual de Suelo en la Cuenca Grijalva-Usumacinta. Símbolos: ■ Asentamientos humanos; ■■ Bosque de encino; ■■■ Bosque de pino; ■■■■ Bosque mesófilo de montaña; ■■■■■ Chaparral; □ Cuerpos de agua; □■■■■■ Manejo agrícola, ganadería y forestal; ■■■■■ Manglar; ■■■■■ Otros usos; ■■■■■ Palmar; ■■■■■ Popales y tulares; ■■■■■ Sabana; ■■■■■ Selva alta perennifolia y sub-perennifolia; ■■■■■ Selva baja caducifolia y sub-caducifolia; ■■■■■ Selva baja perennifolia, sub-perennifolia y espinosa; ■■■■■ Selva mediana perennifolia y sub-perennifolia; ■■■■■ Selva mediana caducifolia y sub-caducifolia; □ Límite estatal; □□ Límite municipal. Atributos especiales: Ellipsoid: WGS 84, Proyección: Universal Tranversa de Mercator, Cuadrícula: UTM cada 50 Km, datum horizontal: WGS 84; Escala: 1:1,094,616

Figure 2. Distribution map of the present use of the soil in the Grijalva-Usumacinta basin. Symbols: ■ Human settlements; ■■ Oak forest; ■■■ Pine forest; ■■■■ Cloud forest; ■■■■■ Chaparral; □ Water bodies; ■■■■■ Agricultural, stockbreeding and forestry management; ■■■■■ Mangrove; ■■■■■ Other uses; ■■■■■ Palm grove; ■■■■■ cattail and wetland vegetation (popal); ■■■■■ Savanna; ■■■■■ High evergreen and sub-evergreen rainforest; ■■■■■ Low deciduous and sub-deciduous rainforest; ■■■■■ Low evergreen, sub-evergreen and thorny rainforest; ■■■■■ Medium evergreen and sub-evergreen rainforest; ■■■■■ Medium deciduous and sub-deciduous rainforest; □ State limit; □□ Municipal limit. Special attributes: Ellipsoid: WGS 84, Projection: Mercator Transversal Universal, Grid: UTM every 50 km, horizontal datum: WGS 84; Scale: 1:1,094,616.

Porcentaje de Pendientes de la Geoforma (PPG)

En el Mapa de PPG (Figura 3) se observa que una extensión de 30 550.40 km² equivalente a 35.05 % de la superficie total del área de estudio presentó pendientes menores a 2 % (planas). Este rango de pendientes predomina principalmente sobre la plani-

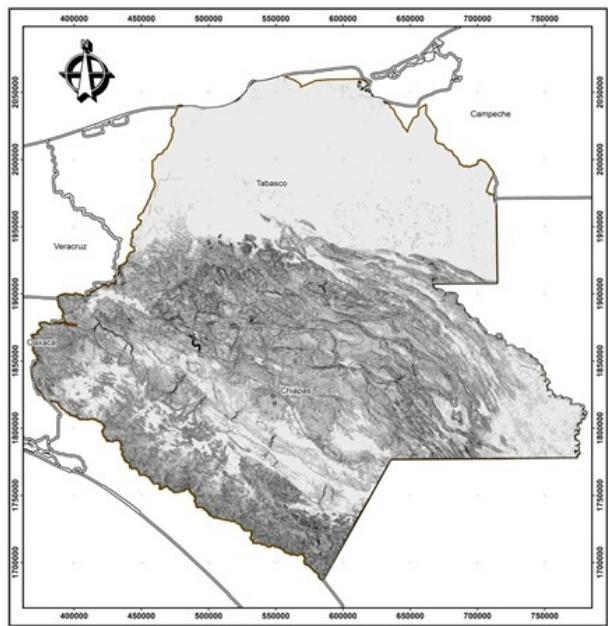


Figura 3. Porcentaje de Pendientes de las Geoformas en la Cuenca Grijalva-Usumacinta. Símbolos: □ 0-3 %; ▨ 3-8 %; ▨ 8-16 %; ▨ 16-30 %; ▨ 30-65 %; ▨ > 65 %; ▨ Límite estatal; ▨ Límite municipal. Atributos especiales: Elipsoide: WGS 84, Proyección: Universal Tranversa de Mercator, Cuadricula: UTM cada 50 Km, datum horizontal: WGS 84; Escala: 1:1,094,616

Figure 3. Percentage of landform slopes in the Grijalva-Usumacinta basin. Symbols: □ 0-3 %; ▨ 3-8 %; ▨ 8-16 %; ▨ 16-30 %; ▨ 30-65 %; ▨ > 65 %; ▨ State limit; ▨ Municipal limit. Special attributes: Ellipsoid: WGS 84, Projection: Mercator Transversal Universal, Grid: UTM every 50 km, horizontal datum: WGS 84; Scale: 1:1,094,616.

cie del estado de Tabasco. También es posible encontrar estas pendientes, aunque con una menor extensión, hacia el Norte de la subcuenca del alto Grijalva, hacia el Sur sobre la subcuenca Río Lacantún y en pequeñas zonas de la subcuenca del medio Grijalva.

Las pendientes escarpadas y muy escarpadas abarcan una superficie de 11 994.20 y 1 304.93 km² respectivamente, las cuales corresponden al 13.76 % y 1.49 % con respecto al área total de la zona de estudio. Se localizan principalmente sobre el estado de Chiapas, hacia el Sur de las subcuenca del Bajo Grijalva y Alto Grijalva, y de manera irregular sobre las subcuenca del Medio Grijalva y Río Lacantún, sin embargo, las pendientes muy escarpadas se encuentran más representadas sobre el Sur del estado de Chiapas.

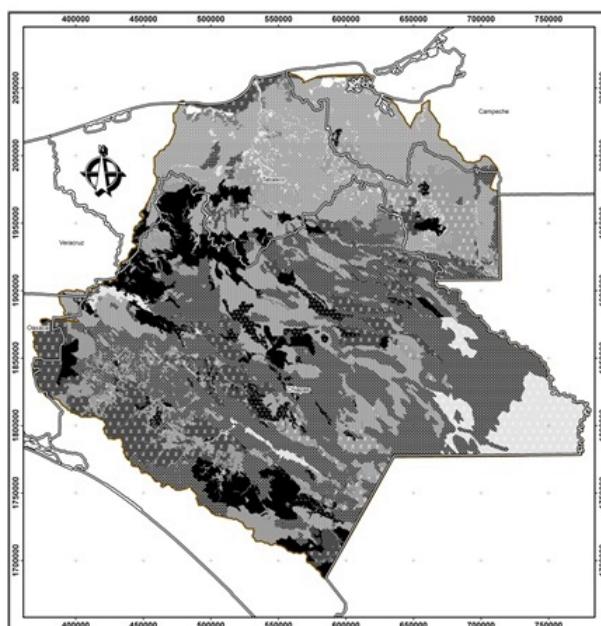


Figura 4. Mapa de las Clases de Suelos en la Cuenca Grijalva-Usumacinta. Símbolos: ■ Acrisoles; ■ Andosoles; ■ Arenasoles; ■ Cambisoles; ■ Asentamientos humanos; ■ Cuerpos de agua; ■ Fluvisoles; ■ Gleysoles; ■ Leptosoles; ■ Luvisoles ■ Nitisos ■ Planosoles; ■ Phaeozems; ■ Regosoles; ■ Solonchaks ■ Vertisoles; ▨ Límite estatal; ▨ Límite municipal. Atributos especiales: Elipsoide: WGS 84, Proyección: Universal Tranversa de Mercator, Cuadricula: UTM cada 50 Km, datum horizontal: WGS 84; Escala: 1:1,094,616

Figure 4. Map of soil classes in the Grijalva-Usumacinta basin. Symbols: ■ Acrisols; ■ Andosols; ■ Arenosols; ■ Cambisols; ■ Human settlements; ■ Water bodies; ■ Fluvisols; ■ Gleysols; ■ Leptosols; ■ Luvisols; ■ Nitisos; ■ Planosols; ■ Phaeozems; ■ Regosols; ■ Solonchaks; ■ Vertisols; ▨ State limit; ▨ Municipal limit. Special attributes: Ellipsoid: WGS 84, Projection: Mercator Transversal Universal, Grid: UTM every 50 km, horizontal datum: WGS 84; Scale: 1:1,094,616.

Clase de suelo (CS)

De acuerdo al mapa de clasificación de suelos que se generó (Figura 4), se identificaron 43 subunidades y 15 grupos principales de suelo de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo referida como la WRB (ISRIC/SICS/FAO, 2006); de los cuales, los Leptosoles, Gleysoles y Luvisoles fueron los más predominantes donde en conjunto estos suelos cubren 53 % de la superficie de la cuenca. Estos suelos se distribuyen en todo el territorio, sin embargo si se divide la cuenca a partir de una línea imaginaria que separa la cuenca en dos hemisferios en el mapa (Sur y Norte), estos suelos predominan

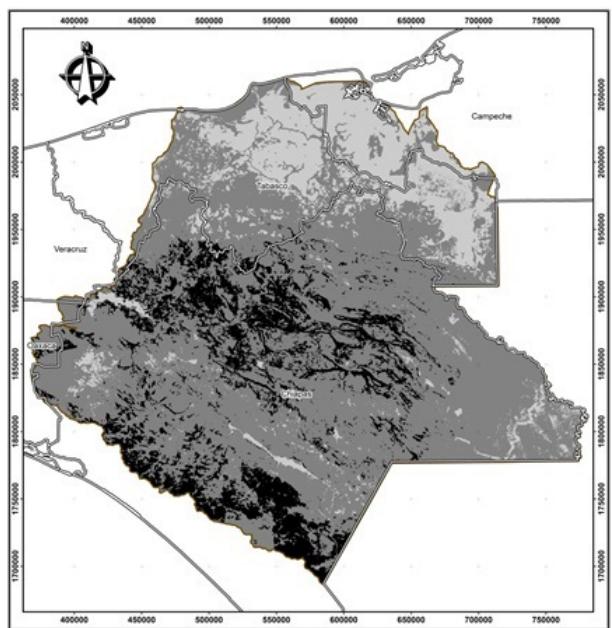


Figura 5. Mapa de Erosión Potencial en la Cuenca Grijalva-Usumacinta. Símbolos: ■ Baja; ■■ Media; ■■■ Alta; □ Límite estatal; □□ Límite municipal. Atributos especiales: Ellipsoide: WGS 84, Proyección: Universal Tranversa de Mercator, Cuadrícula: UTM cada 50 Km, datum horizontal: WGS 84; Escala: 1:1,094,616

Figure 5. Map of potential erosion in the Grijalva-Usumacinta basin. Symbols: ■ Low; ■■ Medium; ■■■ High; □ State limit; □□ Municipal limit. Special attributes: Ellipsoid: WGS 84, Projection: Mercator Transversal Universal, Grid: UTM every 50 km, horizontal datum: WGS 84; Scale: 1:1,094,616.

en la parte Sur de la cuenca y se acompañan por otro grupo de suelos igualmente someros y pedregosos como los Regosoles.

Mapa de erosión potencia (EP)

A partir de la interpolación de los cuatro mapas descrito anteriormente se generó el mapa de riesgo de erosión (Figura 5). Los resultados obtenidos indicaron que la cuenca Grijalva-Usumacinta presenta riesgo de erosión que va de medio a alto en más de 7 millones de hectáreas equivalente a 83 % del área total de la cuenca, mientras que solo 1.5 millones de hectáreas aproximadamente equivalente a 17 % se pueden considerar con un nivel de riesgo bajo. Se observa que el problema de la erosión se acentúa hacia la parte Centro y Suroeste de la cuenca, mientras que en la parte Norte y Noreste, se visualiza un área con nivel de riesgo bajo, asociada a una problemática

relacionada con eutrofización por ser receptora de los sedimentos que se pierden en las partes más altas de la cuenca. El nivel de riesgo de erosión que se observa en la cuenca obedece a una combinación de factores que aceleran dicho proceso. Caso específico, el uso de suelo, porcentaje de pendiente de la geoforma, tipos de suelo, así como los regímenes de precipitación que se registran.

DISCUSIÓN

La combinación de factores que aceleran el fenómeno de la erosión en la cuenca Grijalva-Usumacinta ha provocado que en la actualidad el 83 % de la cuenca presente un nivel de riesgo de erosión medio-alto, mientras que solo el 17 % se puede considerar en un nivel de riesgo bajo. En México, la región sur hospeda los remanentes de selva más importantes del país y recibe uno de los aportes de precipitación más cuantiosos (Equihua et al. 2006). No obstante que el agua es un recurso de alta importancia, la lluvia en grandes volúmenes e intensidades representan un factor de alta erosividad. López y Romero (1993) señalaron que lluvias de 100, 200 y hasta 300 mm que son registradas en pocas horas, liberan enormes cantidades de energía que se ven reflejadas en elevadas pérdidas de suelo, socavones, abarrancamientos, espesas capas de sedimentos, así como también inundaciones. Asimismo, la topografía y el grado de pendiente son otros de los factores que aceleran la perdida de suelo; de acuerdo con Alvarado-Cardona et al. (2007) las partes de una cuenca que presentan mayores riesgos de erosión, son aquellas con pendientes mayores a 25 %, las cuales fueron consideradas por Alvarado et al. (1982) como escarpadas. En casi la mitad de la superficie de la cuenca Grijalva-Usumacinta (47.64 %), las pendientes son mayores a 8 %, lo que hace a este territorio más propenso a la erosión. Otro factor de riesgo que se observó, es que los suelos son predominantemente someros, tales como Leptosoles y Regosoles. Sin embargo la profundidad del suelo no es por sí misma lo que representa un alto riesgo de erosión, Geissen et al. (2008) señalaron que el suelo sometido a lluvias erosivas, a un manejo in-

decuado y con una mayor pendiente presentan un mayor riesgo a la erosión, ellos encontraron manifestaciones de erosión en la zona de lomeríos y la planicie tabasqueña, específicamente se registraron cárcavas, grietas y movimiento de masas en suelos Luvisoles, Leptosoles, Gleysoles y Vertisoles con pendientes que oscilaron entre 1 a 10 %. A los factores antes mencionados se añaden las actividades antropogénicas, las cuales incrementan el riesgo de erosión, con el consecuente impacto sobre el clima, los ciclos del agua, el carbono y el nitrógeno en la biosfera, las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y la biodiversidad. Al respecto, Paruelo *et al.* (2005) mencionaron que ante una demanda creciente de alimentos y fibras, el aumento de la superficie agrícola aparece como un proceso ineludible, sin embargo es necesario planificar con cuidado la expansión del área cultivada para asegurar que las decisiones económicas tomen en consideración los costos públicos y los efectos de largo plazo. Si bien es cierto que una superficie de alrededor de 33 % de la cuenca Grijalva-Usumacinta tienen un uso agrícola, pecuario o forestal, es de destacar que en la actualidad esta cuenca sigue albergando importantes áreas de vegetación natural como selvas, bosques de pino y encino, popales, tulares y manglares, que requieren de un especial cuidado a la hora de planear el aprovechamiento de los recursos naturales. Por ello es importante conocer el riesgo de erosión para considerarlo en los planes de desarrollo y gestión de la cuenca. Los mapas de erosión activa y de riesgos de erosión son de gran importancia para las agencias ambientales ya sean públicas o privadas, ya que permiten dirigir los esfuerzos de conservación en aquellas áreas en donde los beneficios serán mayores (Warren 2002). Para medir la erosión existen diversos métodos, aunque para la elección de uno de ellos, dependerá de la escala espacial y el propósito de la medición. El uso de los SIG para medir el riesgo de erosión, no solamente permite calcular la tasa de erosión potencial, sino que además permite ubicar geográficamente las áreas más afectadas (Montes-León 2002). La aplicación de los SIG es muy amplia y en diversos

campos, su uso con fines de evaluación del riesgo de erosión ha permitido generar información que puede servir para adoptar planes de manejo, cuyos resultados son más eficientes y visibles en el corto plazo. Según Bouazizet *et al.* (2011) para medir la erosión se requieren metodologías rápidas y de costos accesibles, que permitan enfrentar oportunamente el problema a través de las prácticas de conservación, estos investigadores realizaron estudios a través del uso de sensores remotos, para describir la contribución de aquellos factores que controlan el fenómeno de la erosión; distinguieron la topografía, uso de suelo, densidad de la vegetación, propiedades del suelo y condiciones climáticas como los más determinantes. El aprovechamiento de tecnologías modernas como los SIG permiten el procesamiento de una gran cantidad de datos de manera ágil y expedita, y aunque requieren de personal y equipo especializado, el costo aparentemente alto, resulta módico si se considera que el fenómeno de la erosión tiene repercusiones ambientales, sociales y económicas muy costosas y difíciles de resarcir. Para México, la planificación del desarrollo en la cuenca Grijalva-Usumacinta es de vital importancia, ya que representa importantes activos de vegetación, agua y biodiversidad, por lo que su conservación resulta de incalculable valor y cuyo alcance no se restringe al ámbito local, sino nacional y global. De ahí la importancia de un aporte como es el mapa de riesgo de erosión que aquí se presenta, aunque es recomendable que dicho mapa sea validado mediante un procedimiento de muestreo en campo, antes de ser usado como fuente de información definitiva en la toma de decisiones y planes de manejo en la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo que participó en esta investigación reconocen y agradecen al FONDO MIXTO CONACYT-TABASCO, por su respaldo financiero al proyecto: TAB-2007-C10-82422/05. Diagnóstico Hidrológico de la cuenca Grijalva-Usumacinta (prevención de inundaciones), del cual se deriva esta aportación científica.

LITERATURA CITADA

- Alvarado A, Glover N, Obando O (1982) Reconocimiento de los suelos de Puriscal-Salitrales y Tabarcia, San Ignacio de Acosta, Turrialba, Costa Rica. CATIE, 105 pp.
- Alvarado-Cardona M, Colmenero R JA, Valderrábano AML (2007) La erosión hídrica del suelo, en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala. *Ciencia ergo sum* 14(3): 317-326.
- Bouaziz M, Leidiga, Gloaguen R (2011) Optimal parameter selection for qualitative regional erosion risk monitoring: A remote sensing study of SE Ethiopia. *Geoscience Frontiers* 2 (2): 237-245
- Cisneros I H, Bouvier C L, Domínguez M R (1998) Aplicación del método Kriging en la construcción de campos de tormenta en la ciudad de México. XVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA. Oaxaca, México 1998.
- Cohen M J, Shepherd K D, Walsh M G (2005) Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. *Geoderma* 124 (3-4): 235-252
- Díaz J, Royero G, Materano G (1999) Estado actual de erosión hídrica en la cuenca del río Motatán Sector Monay-Torococo-Mitón. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 16 Supl. 1: 161-170
- Equihua M, Benítez G, Muñoz I, Medina Á JI, Pulido MT, Palestina R, Acosta I (2006) Bosques y agua en el sur de México: un balance general. In: *Geo economía y geopolítica en el área del Plan Puebla Panamá*. Villafuerte D, Leyva X (Coord.) Ed. CIESAS-Porrúa, México pp. 171-
- Fu B J, Zhao W W, Chen L D, Zhang Q J, Lü Y H, Gulinck H, Poesen J (2005) Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development* 16 (1): 73-85.
- Geissen V, López de Llergo-Juárez JG, Galindo-Alcántara A, Ramos-Reyes R (2008) Erosión superficial y carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste de México. *Agrociencia* 42: 605-614.
- ISRIC, SICS, FAO (2006) WRB (World Reference Base for Soil Resources). First edition. Roma, Italia. 128 pp.
- Lambin E F (1996) Change Detection at Multiple Temporal Scales: Seasonal and Annual Variations in Landscape Variables. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(8): 931-938.
- López B F, Romero D MA (1993) Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea. *Cuadernos I: Geográfica* Vol. 18,19: Ediciones Logroño, España pp. 7-28
- Montes León MA L (2002) Predicción de la Erosión Hídrica para la Elaboración de Planeas de Conservación de Suelos a Nivel Cuenca. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro 110 pp.
- Muchoney D, Haack B (1994) Change Detection for Monitoring Forest Defoliation. *Photogrammetric, Engineering and Remote Sensing*, 60(10): 1243-1251.
- Nieves J, García L, Cardoza R (2001) La degradación de los suelos en México. In: Palacio P JL, González LL, Vázquez-Selem L, Bocco G, McClung E, Alcántara I, Imbar M, Sala M (Organizing committe). Proceeding of the International Symposium on Land Degradation. May 7-14. IGV. Commission on Land Degradation and Desert of Geography (COMLAND), Institute of Geography, Institute of Ecology, Institute of Anthropology, and National Autonomous University of Mexico (UNAM), México.
- Paruelo JM, Guerschman JP, Verón SR (2005) Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia hoy* 15 (87): 14-23.

Ramírez-Jaramillo G, Soria R J, Góngora G S, López L R, Pérez M LA, Díaz P G (2009) Integración de un SIG para el análisis espacial de la región sur-sureste de México. Folleto técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 26 p.+ Anexos: Mapas digitales.

Ruiz T, Febles G (2004) La desertificación y la sequía en el mundo. Avances en Investigación Agropecuaria 8 (2): 1-10.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. Evaluación de la degradación del suelo causado por el hombre en la República Mexicana Escala 1:250.000. Memoria Nacional. México, D. F. 76 pp.

Warren A (2002) Land degradation is contextual. *Land Degradation and Development* 13: 449-459.