

ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y SU RELACIÓN CON EL USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO CAHOACÁN, CHIAPAS, MÉXICO

ESTIMATE OF WATER EROSION AND ITS RELATIONSHIP TO LAND USE IN THE COHOACAN RIVER BASIN, CHIAPAS, MEXICO

Santacruz De León, Germán¹

Resumen

En los últimos años en la costa de Chiapas se han presentado graves procesos de erosión debido a los cambios de uso de suelo. Por la magnitud de la problemática se han realizado estudios que muestran el papel clave que juega la cobertura vegetal en el proceso erosivo de la lluvia. El objetivo de esta investigación es estimar la erosión hídrica, además de analizar los efectos de las modificaciones en el uso de suelo de la cuenca del río Cahoacán localizada en la costa chiapaneca. Se empleó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS); para estimar el factor de erosividad (R) se empleó la metodología propuesta por Cortés (1991), se usaron datos de precipitación media mensual y media anual de 5 estaciones que se encuentran dentro de los límites de la cuenca y de 10 estaciones que se encuentran fuera de ella pero próximas a sus límites; los valores de R, al igual que las demás variables consideradas en la EUPS, se analizaron con apoyo del ArcView 3.2. Se establecieron tres escenarios, uno bajo condiciones actuales de uso de suelo, otro considerando las modificaciones de la vegetación en la cabecera de la cuenca; finalmente un tercero en el que se mantenían las condiciones de uso de suelo en la cabecera a la vez de que se realizaban prácticas de conservación en la misma, para lo cual se dividió en 13 microcuencas. Los resultados revelaron que en condiciones actuales de uso de suelo, las pérdidas van desde 16,270 ton/ha/año hasta valores de 20,000 ton/ha/año, presentándose valores mínimos de 13.317 ton/ha/año. Los valores encontrados son muy superiores a los reportados para el estado de Chiapas en la bibliografía consultada. Se concluye que de seguir las alteraciones de los bosques, los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 900%. De modificarse la tendencia actual de deforestación y con buenas prácticas agrícolas en las zonas donde se realiza agricultura de temporal y de riego, la pérdida de suelo se reduciría en un 60 % con respecto a la actual.

Palabras clave: Chiapas, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, erosión hídrica, río Cahoacán, uso de suelo.

Abstract

In recent years, serious erosion processes on the coast of Chiapas have been present due to changes in the land use. Because of the magnitude of the problem, studies have been done and they show the vegetation played an important role during the water erosion process. The objective of this research was to estimate water erosion, beside to analyze the effects of changes in the land use on the basin of the Cahoacan River, located in the Chiapas coast. The Universal Soil Loss Equation (USLE) was used; in order to estimate the erosivity factor (R), the methodology proposed by Cortés (1991) was applied. It was used average monthly and annual precipitation data of 5 stations located within the limits of the basin as well as of 10 stations located outside but close to its limits; R values, as well as the other variables considered in the USLE, were analyzed with the support of ArcView 3.2. Three scenarios were established, one under present conditions of land use, another considering vegetation modifications at the headwater basin and finally a third one in which they held the land use conditions in the headwaters basin and conservation practices were done in the same, to which was divided into 13 watersheds. The results showed that in current conditions of land use, losses range from 16,270.00 tons/ha/yr to values of 20,000.00 ton/ha/year, presenting minimum values of 13.31 ton/ha/year. The values are much higher than those reported for the state of Chiapas in the reviewed literature. It could be conclude that if the changes of forests continue, the current values of soil loss can be increased up to 900%. If the current trend of deforestation is modified and good agricultural practices were applied in areas with agricultural temporary and with irrigation, soil loss will be reduced to lower values by 60% at present.

Keywords: Chiapas, Universal Soil Loss Equation, water erosion, Cahoacan River, land use.

¹ Profesor-Investigador del Programa "Agua y Sociedad". El Colegio de San Luis, A.C. Parque de Macul # 155, Col. Colinas del Parque. San Luis Potosí, S.L.P. C.P. 78299. México. Tel. (444) 8 11 01 01 ext. 6109, e-mail: gsantacruz@colsan.edu.mx

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es la más importante causa de erosión de tierras, es responsable de la erosión de 440 millones de hectáreas de tierras de las 747 millones que sufren erosión en Asia; de 227 millones de hectáreas de las 497 millones que son afectadas por este fenómeno en África; de 123 millones de hectáreas de 243 millones en América del Sur; de 115 millones de 219 millones en Europa, 106 en América del Norte y América Central, Bifani (1984). Este mismo autor indica que un fenómeno íntimamente ligado a la erosión es el de sedimentación; es así como el proceso de erosión por acción del agua suele medirse por el volumen de sedimentos que arrastran los ríos. El Ganges, el Brahmaputra, el río Amarillo arrastran anualmente 1,451 millones, 726 millones y 1,887 millones de toneladas métricas respectivamente, volúmenes que significan 1,518, 1,090 y 2,804 toneladas métricas por kilómetro cuadrado, en comparación, el Mississippi, el Amazonas y el Nilo arrastran sólo 97, 63 y 31 toneladas métricas por kilómetros cuadrados de cuenca (Holeman, 1968).

La erosión de suelos en México es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad. La implementación de métodos para predecir la pérdida de suelo por erosión en México no ha sido muy extensa, se han realizado numerosas investigaciones para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos de suelo a nivel de cuenca hidrográfica y para evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas utilizando parcelas de erosión o lotes de escurrimiento, pero pocos estudios se han enfocado a la predicción de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos (Montes *et al.* 1998).

Ahora bien, en Chiapas y en particular en la costa de Chiapas, que es en donde se ubica la cuenca en estudio, ha sufrido en los últimos años, graves procesos de erosión hídrica, provocando pérdidas humanas y materiales. Baumann (1999), indica que el análisis de los diferentes estudios y diagnósticos que se han realizado sobre el proceso de erosión en las cuencas hidrográficas de la Costa de Chiapas, demuestra una situación preocupante. Destaca una serie de problemas en relación al impacto humano y los cambios de uso de suelo en la zona, lo que acelera el proceso erosivo, la deforestación, la extensión de cultivos anuales y pastizales en zonas de laderas, el manejo deficiente de cultivos, la falta de medidas de conservación de suelo. Las características naturales muestran que cada uno de los factores del clima (alta pluviometría), topografía (pendientes pronunciadas), geología, aumentan el potencial natural de erosión, llegando a niveles extremos en su acción conjunta. Debido a la magnitud de la problemática mencionada se han realizado estudios por organismos gubernamentales e instituciones de investigación, estos se basan principalmente en diagnósticos visuales de diferentes cuencas hidrográficas (SERNyP 1997) y en

algunos casos mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo con base en la cartografía existente (Gómez *et al.* 1997). Existe divergencia en los resultados obtenidos, sin embargo todas éstas investigaciones indican el papel clave que juega la cobertura vegetal en disminuir o acrecentar el proceso erosivo de la lluvia en combinación con una topografía pronunciada.

La región del Soconusco, presenta problemas crecientes de erosión que tiene su causa principal en formas no adecuadas de uso de suelo, destaca la erosión que se presenta en la zona cafetalera (600 a 1400 msnm) que se manejan sin árboles de sombra (Richter, 1993). Arellano (1994) usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, estimó que en el 89 % del territorio chiapaneco se presentaban condiciones de erosividad de lluvia de extrema a muy extrema con valores de erosividad anual R mayores de 10,000 MJmm/hahaño. Del mismo modo concluye que en poco más del territorio estatal, el potencial de erosión hídrica es de extremo a muy extremo.

Los resultados obtenidos por diversos investigadores, permiten ver la importancia de realizar mayores estudios que permitan diagnosticar la erosión hídrica a nivel de cuenca, así como poder inferir que puede ocurrir en caso de presentar la tendencia de degradación del suelo. En tal sentido, el objetivo de esta investigación fue estimar la erosión hídrica con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) y analizar los efectos de los cambios en el uso de suelo en el proceso de erosión hídrica en la cuenca del río Cahoacán.

La ventaja de la EUPS es que el índice de erosividad permite considerar de modo más preciso las diferencias de pluviosidad de una tormenta a otra, o de una estación a otra. Sin embargo, en la práctica es muy difícil tener los datos que permitan estimar el índice de erosividad, esto debido a la escasez y mala distribución de los pluviógrafos. Lo anterior ha dado lugar a la búsqueda de modelos que realicen una predicción en función de parámetros proporcionados por la red pluviométrica. Para el caso que aquí se estudia se usará la expresión generada por Cortés (1991), ésta ecuación y los argumentos de este último se detallan más adelante.

Gracia (1997), indica que la versión original de la ecuación universal fue concebida para aplicaciones a nivel de parcelas, por lo que tiene limitaciones para aplicarse a grandes áreas como es el caso de las cuencas. Lo que implica evaluar algunos parámetros de forma diferente al del parámetro original, este es el caso de por ejemplo de S y L; sin embargo los criterios para la realización de esta estimación no son uniformes ni completamente probados. El mismo autor indica que los factores K, SL, C y P pueden tomarse en cuenta siguiendo el mismo procedimiento del criterio original y que siempre el factor R es motivo de discusión. Existen numerosos criterios para determinar este factor, los cuales básicamente emplean la precipitación media anual, argumentando claramente

que no existe información pluviográfica que permita estimar el factor R. Por ejemplo, Barrios y Quiñonez (2000) estimaron el factor R a partir de registros mensuales de lluvia, usando datos de seis estaciones climatológicas cercanas al área de la cuenca motivo de su estudio, los mismos autores realizaron la distribución espacial de R mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

METODOLOGÍA

La cuenca hidrográfica del río Caohacán se ubica en la Región Hidrológica No. 23, Costa de Chiapas y en la Región Administrativa No. 11 denominada Frontera Sur. Se ubica dentro de la zona socioeconómica denominada Soconusco (Figura 1). La cuenca del río Caohacán, queda ubicada dentro del área de los municipios de Cacaohatán, Tuxtla Chico, Metapa, Frontera Hidalgo y mayormente en el municipio de Tapachula. En algunos casos el río que da formación a esta cuenca, sirve de límite entre municipios.

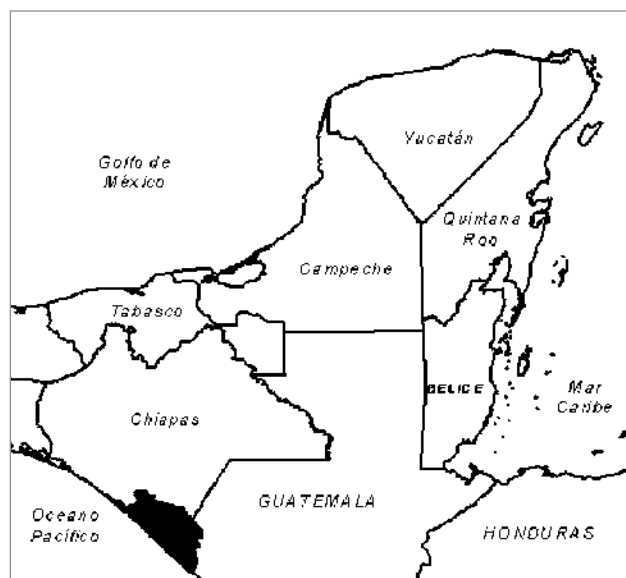


Figura 1. Localización de la zona socioeconómica del Soconusco, Chiapas.

Fuente: ECOSUR, 1999.

El río Cahoacán es el que da origen a la cuenca del mismo nombre, este río tiene su origen en el volcán Tacaná y es la corriente más cercana a Guatemala, su peculiar disposición hace que la cuenca se desarrolle en forma íntegra dentro del territorio mexicano. La longitud total del río a lo largo de su cauce principal es de aproximadamente 72.0 km, su cuenca total es de aproximadamente 277.0 km², hasta donde se ubica la estación hidrométrica, se puede decir que se trata de una corriente muy angosta, con sus afluentes secundarios dirigidos casi todos en la misma dirección de la corriente principal, esto es de norte a sur.

Para estimar la erosión hídrica en la cuenca se empleó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Gracia (1997), indica que una de las principales difi-

cultades para el uso de la ecuación universal, radica en la inconsistencia de las unidades empleadas, ya que el criterio original considera unidades inglesas, por lo que la transformación al sistema métrico no es trivial, el mismo autor propone como alternativa para resolver este problema el determinar todos los factores en unidades inglesas y calcular la pérdida de suelo empleando la ecuación 1.

$$A = (224.2) R K S L C P \quad (1)$$

Lo que permite que A se obtenga en toneladas métricas por kilómetro cuadrado por año.

En México y en muchas otras regiones del mundo se tiene poca información sobre la intensidad de lluvia, por lo que se han desarrollado modelos empíricos alternativos para la estimación de R en función de otros parámetros de la lluvia, por ejemplo el de Lal (1976) y el de Ferro *et al.* (1991). Para estimar el factor R se emplea la metodología propuesta por Cortés (1994), cuya ecuación ($r^2=0.96$) es:

$$R = Y = 2.4619 P + 0.00606 P^2 \quad (2)$$

Donde:

R = Factor de erosividad de Wischmeier.

P = Precipitación media anual.

Para determinar dicho valor se usaron los datos de precipitación media mensual y la precipitación media anual de 5 estaciones que se encuentran dentro de los límites de la cuenca del Caohacán, así como los datos de 10 estaciones que se encuentran en las cuencas con las que limita esta última (Figura 2).

El factor de erodabilidad del suelo, K, es un factor que toma en cuenta el tipo de suelo. Para su determinación se consideró la metodología de la FAO (1980) que utiliza unidades de suelos de acuerdo a su clasificación y considera tres tipos de textura superficial del suelo, además se consideró lo establecido por Arellano (1994). Para determinar el factor de cobertura del suelo, C, se consideró la información cartográfica en formato vectorial.

El factor de prácticas de conservación del suelo, P, que es considerado como una variable independiente en la EUPS, contempla prácticas de conservación del suelo tales como: cultivos en curvas de nivel, cultivos en terrazas. En el caso de la cuenca en estudio se consideró que no se realiza alguna de éstas prácticas y por lo tanto éste factor toma el valor de P= 1. Este considerando lo asumen Barrios y Quiñonez (2000), para la cuenca que ellos estudiaron y Montes *et al.* (1998), asumen que los factores C y P de la EUPS pueden considerarse con valores unitarios y usar únicamente los factores R, K, LS.

El factor de longitud y grado de la pendiente, LS, considera el efecto de la topografía sobre la erosión.

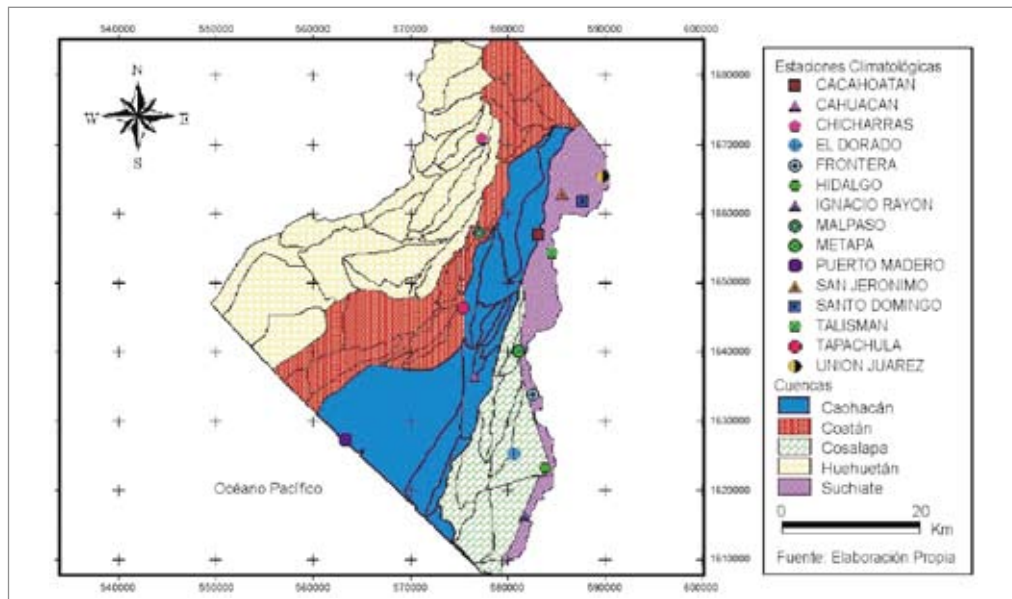


Figura 2. Estaciones climatológicas consideradas en el cálculo de R en la cuenca del río Caohacán.

Para su determinación se empleó la ecuación 3 (Gracia, 1997; Montes *et al.* 1998; McCool *et al.* 1987; Foster *et al.* 1977).

$$LS = (x / 22.13)^m (0.065 + 0.045 S + 0.0065 S^2) \quad (3)$$

Donde:

x = Longitud del tramo de pendiente S, en metros.

S = Pendiente en porcentaje (5, 10, 20 %)

m = exponente que depende del grado de pendiente del terreno.

El exponente m, en función de la pendiente del terreno asume los valores siguientes: m = 0.5 si S ≥ 5 %; m = 0.4 si 5 > S > 3 %; m = 0.3 si 3 ≥ S ≥ 1 %; m = 0.2 si S < 1 %. Esta fórmula se aplica para pendientes

menores del 9% y longitudes de declive inferiores a los 350 metros (Edeso *et al.* 1995) y en este caso se aplicó para las microcuencas 3 a 9. En el caso de las microcuencas 1 y 2, en las que las condiciones anteriores no se cumplen, se empleó el criterio de Mintegui (1988) citado por Barrios (2000), que también es utilizado por la Cátedra de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid) (Edeso *et al.* 1995), así como para analizar una microcuenca andina venezolana (Barrios, 2000). Para la aplicación del criterio citado se consideró el comportamiento de las pendientes en grados o porcentajes (Figura 3).

Se establecieron tres escenarios, uno bajo condiciones actuales de uso de suelo, otro considerando modificaciones vegetales en la cabecera de la cuenca y finalmente un tercero en el que se mantenían

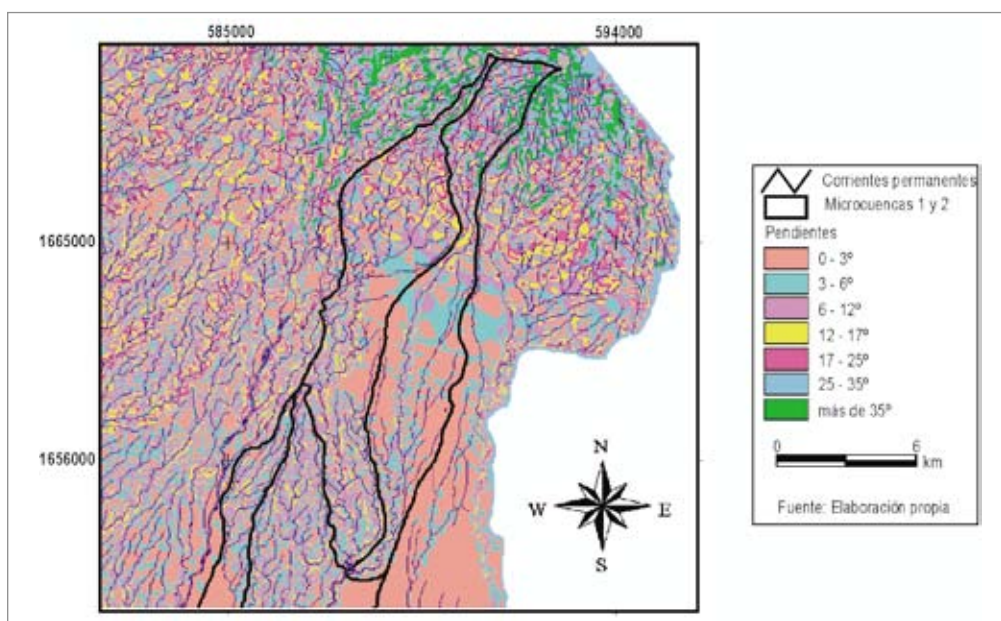


Figura 3. Tipos de pendientes en las microcuencas 1 y 2 para definir el factor LS.

las condiciones de uso de suelo en la cabecera de la cuenca y se realizaban practicas de conservación en la misma, para lo cual la cuenca se dividió en 13 microcuencas (Figura 4)

RESULTADOS

De acuerdo con la tabla 1, R asume un valor mínimo de 13,543.28, que corresponde a la estación El Dorado y un valor máximo de 162,740.401 que corresponde a la estación Santo Domingo.

Los valores de isoerosividad van desde los 160,000 MJ*mm/ha*h*año hasta valores mínimos de 20,000 MJ*mm/ha*h*año. En la cabecera de la cuenca se presentan erosividades altas y en las partes bajas

que pueden ser consideradas de acumulación de sedimentos se presenta valores bajos, menores a los 20,000 MJ*mm/ha*h*año (Figura 5).

Los valores del índice de erodabilidad K, varían desde 0.013 hasta 0.030, valores considerados como medios (Figura 6). Al interior de la cuenca del río Cahocacán se presentan zonas urbanas hasta zonas de bosque mesófilo de montaña (Figura 7); en algunos casos no se puede asociar valores factor de cobertura (C) a algunos tipos de vegetación tal es el caso de las áreas consideradas como perturbadas y la vegetación de dunas costeras. El valor máximo de este factor corresponde a la agricultura de riego con 0.56 y el mínimo al área de laguna intermitente con un valor de 0.003.

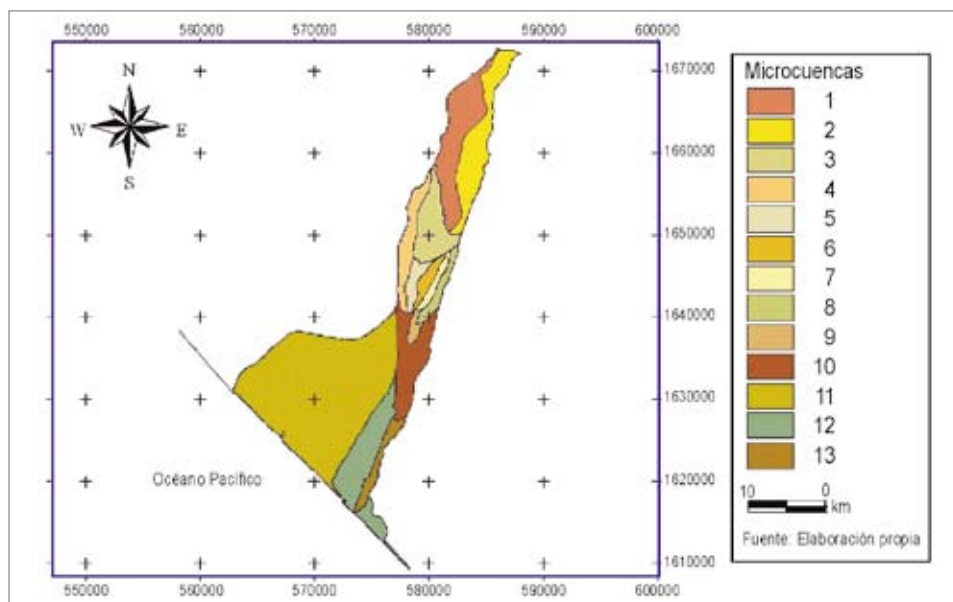


Figura 4. División en microcuencas de la cuenca del río Cahocacán.

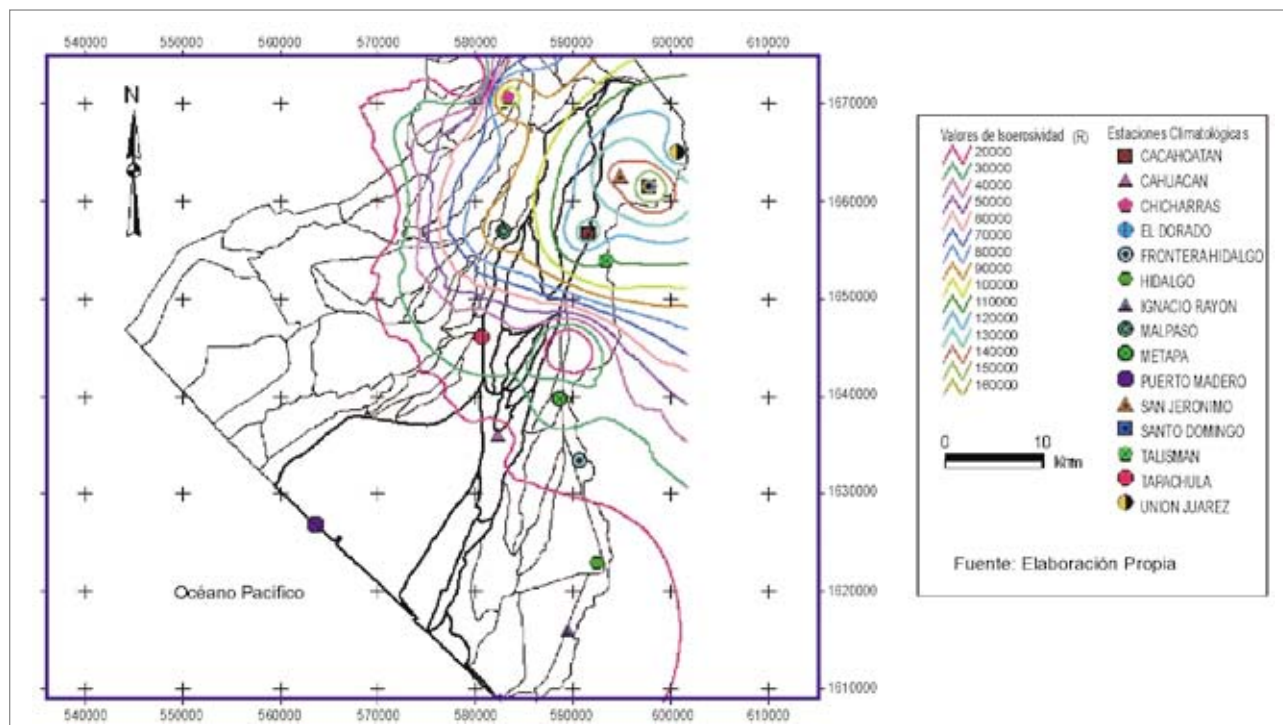


Figura 5. Estaciones climatológicas, cuencas y valores de isoerosividad (R).

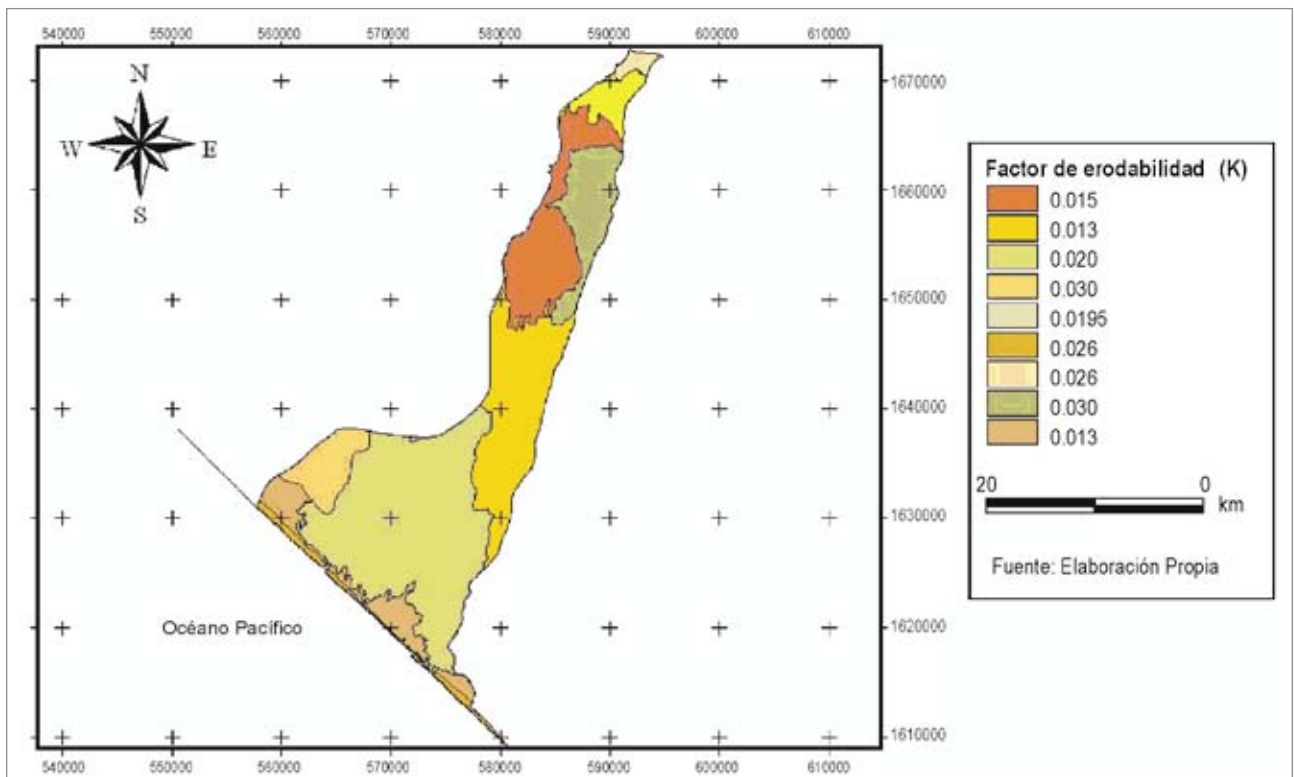


Figura 6. Factor de Erodabilidad (K) en función del tipo de suelo, en la cuenca del río Caohacán.

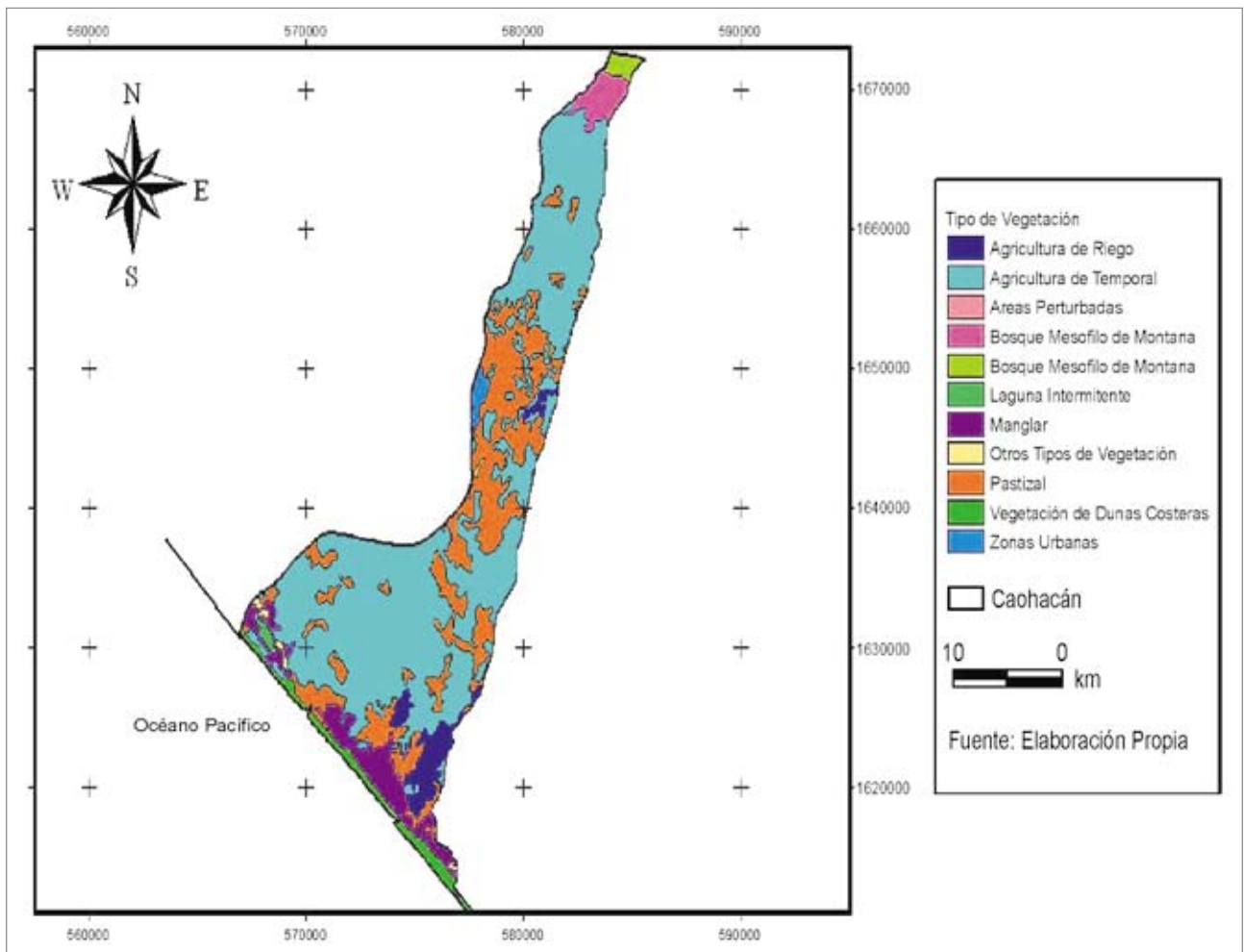


Figura 7. Tipo de vegetación para definir el factor C, en la cuenca del río Caohacán.

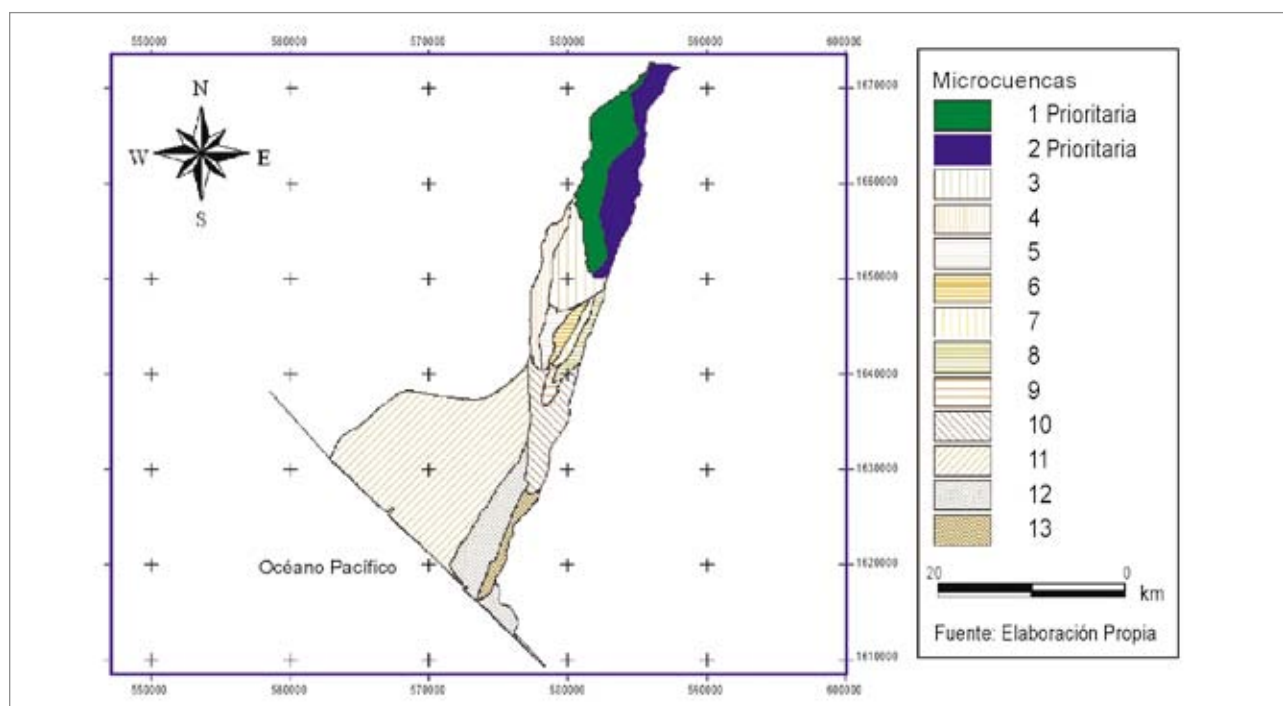


Figura 8. Microcuencas prioritarias para el control de la erosión hídrica.

El cálculo de la cantidad de material erosionado en toneladas por hectárea por año se realizó para nueve microcuencas, las cuales se ubican por arriba de los 60 msnm, considerando que en las restantes se deposita el material erosionado (Tabla 2). La tabla 2 permite ver que en las partes altas de la cuenca (microcuencas 1 y 2) se presenta la mayor cantidad de pérdida de suelo, con valores que van de los 16,270.8 toneladas por hectárea por año en una sección de la microcuenca 1, hasta valores de 20,025.6 toneladas por hectárea por año en la microcuenca 2; en contraste, se tienen valores mínimos de 13.317 ton/ha/año en la microcuenca 9. Es importante mencionar que en la parte alta existen áreas de bosque mesófilo de montaña, pero se presentan las mayores pendientes del terreno además de presentar superficies considerables de agricultura de temporal. Los valores encontrados son superiores a los reportados en la bibliografía consultada; por ejemplo, Arellano (1994) reporta para Chiapas una pérdida de suelo de 500 ton/ha/año, sin embargo las condiciones de la cuenca analizada (topografía accidentada, prácticas agrícolas inadecuadas y precipitación pluvial) propician que se pierda grandes cantidades de suelo. Reynoso *et al.* (1998), encontraron que en las cuencas del río Vadoancho y Novillero, en la región del Soconusco, que 9.5% de la superficie tiene valores de erosión moderados (20 – 80 ton/ha) y sólo un 1.0 % presenta valores mayores a 80 ton/ha. Por otro lado, Retureta y Ascanio (1998), encontraron, pérdidas de suelo de 16,925.50 ton/ha/año en áreas agrícolas, de 7,245.50 ton/ha/año en las áreas ganaderas y 123.72 ton/ha/año en la parte forestal, todo ello en la subcuenca del río Atopa en el estado de Veracruz, en la cual se tienen precipitaciones de 1,676 mm hasta

2,000 mm, muy similares a las presentes en el área que aquí se estudia.

Montes *et al.* (1998), reportan para una cuenca en el estado de Querétaro valores que van de 20 a 80 ton/ha/año; si bien las condiciones físicas y climáticas no son similares a la cuenca estudiada, esto permite ver que cada uno de los factores considerados en la ecuación son determinantes en mayor o menor grado del valor obtenido; sin embargo para este caso los que mayor influencia presentan son el índice de erosividad (R), el factor que integra la pendiente y la longitud del cauce considerada (LS), así como el factor de cobertura de suelo.

Tabla 1. Factor de erosividad (R) a partir del modelo propuesto por Cortés (1991).

CLAVE	ESTACION	R (MJ*mm/ha*h*año)
7018	Cacaohatan	134928.92
7019	Caohacan	18259.63
7057	Chicharras	105852.47
7045	El Dorado	13543.28
7068	Frontera Hidalgo	26956.52
7163	Hidalgo	18118.03
7078	Ignacio Rayón	14700.38
7191	Malpaso	94608.05
7117	Metapa	37187.46
7136	Puerto Madero	18282.95
7146	San Jerónimo	142653.53
7157	Santo Domingo	162740.40
7166	Talisman	109519.55
7164	Tapachula	32721.68
7172	Unión Juárez	115564.35

En la tabla 3, se presentan los resultados para el segundo escenario, en el que se proponen condiciones severas para la cuenca, es decir, que el área boscosa (valores de C igual a 0.06) se convierta en zona de agricultura de temporal (con valores de C igual a 0.56), sin prácticas de conservación del suelo, con valores de P iguales a 1; en el que se considera además que las zonas de pastizal (valores de C igual a 0.07) continúan bajo el mismo régimen sin alteraciones. La tabla 4 permite ver que si se continúan las modificaciones en la cubierta vegetal de la parte alta de la cuenca, esto es, de continuar con las alteraciones de los bosques, los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 900%, lo cual es muy grave. Puede observarse en la misma tabla que modificando una sección de la microcuenca 1 y una sección de la microcuenca 2, es decir variando la cobertura vegetal de bosque mesófilo a agricultura de temporal, la pérdida de suelo en estas secciones pasa de 3,425.8 ton/ha/año a 31,973.8 ton/ha/año para la microcuenca 1 y para la microcuenca 2 se incrementa de 3425.8 ton/ha/año a 31,973.8 ton/ha/año; esto permite ver la importancia de la cobertura vegetal. Sin embargo, con acciones antropogénicas esta tendencia puede ser revertida e ir modificando (disminuyendo) los valores de pérdida de suelo.

En el tercer escenario se simula que no existen modificaciones vegetales en la cabecera de la cuenca

Tabla 2. Pérdida de suelo en ton/ha*año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Condiciones actuales.

R	LS	K	C	P	A (ton/ha/año)
Microcuenca 1					
120000	18.3	0.026	0.06	1	3425.8
130000	14.9	0.015	0.56	1	16270.8
100000	2.5	0.03	0.56	1	4200.0
Microcuenca 2					
120000	18.3	0.026	0.06	1	3425.8
120000	14.9	0.02	0.56	1	20025.6
100000	1.5	0.015	0.56	1	1260.0
Microcuenca 3					
70000	1.49	0.0138	0.3925	1	565.43
Microcuenca 4					
80000	1.49	0.0165	0.249	1	492.96
Microcuenca 5					
40000	0.91	0.013	0.215	1	101.69
Microcuenca 6					
50000	0.71	0.013	0.276	1	127.93
Microcuenca 7					
50000	0.32	0.013	0.3692	1	77.96
Microcuenca 8					
50000	0.90	0.013	0.369	1	217.02
Microcuenca 9					
30000	0.25	0.013	0.1355	1	13.31

Tabla 3. Pérdida de suelo en ton/ha/año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Modificaciones antropogénicas.

R	LS	K	C	P	A (ton/ha/año)
Microcuenca 1					
120000	18.3	0.026	0.56	1	31973.8
130000	14.9	0.015	0.56	1	16270.8
100000	2.5	0.03	0.56	1	4200.0
Microcuenca 2					
120000	18.3	0.026	0.56	1	31973.8
120000	14.9	0.02	0.56	1	20025.6
100000	1.5	0.015	0.56	1	1260.0
Microcuenca 3					
70000	1.49	0.0138	0.3925	1	565.43
Microcuenca 4					
80000	1.49	0.0165	0.249	1	492.96
Microcuenca 5					
40000	0.91	0.013	0.215	1	101.69
Microcuenca 6					
50000	0.71	0.013	0.276	1	127.93
Microcuenca 7					
50000	0.32	0.013	0.3692	1	77.96
Microcuenca 8					
50000	0.90	0.013	0.369	1	217.02
Microcuenca 9					
30000	0.25	0.013	0.1355	1	13.31

Tabla 4. Pérdida de suelo en ton/ha/año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Con prácticas de conservación de suelo.

R	LS	K	C	P	A (ton/ha/año)
Microcuenca 1					
120000	18.3	0.026	0.06	1	3425.8
130000	14.9	0.015	0.56	0.4	6508.3
100000	2.5	0.03	0.56	0.3	1260.0
Microcuenca 2					
120000	18.3	0.026	0.06	1	3425.8
120000	14.9	0.02	0.56	0.4	8010.2
100000	1.5	0.015	0.56	0.3	378.0
Microcuenca 3					
70000	1.49	0.0138	0.3925	0.3	169.63
Microcuenca 4					
80000	1.49	0.0165	0.249	0.3	147.89
Microcuenca 5					
40000	0.91	0.013	0.215	0.3	30.50
Microcuenca 6					
50000	0.71	0.013	0.276	0.3	38.37
Microcuenca 7					
50000	0.32	0.013	0.3692	0.3	23.39
Microcuenca 8					
50000	0.90	0.013	0.369	0.3	65.10
Microcuenca 9					
30000	0.25	0.013	0.1355	0.3	3.99

y con prácticas de conservación de suelo; es decir, se propone que se detengan las acciones de deforestación y que en las partes altas de la cuenca, en donde actualmente se realiza agricultura de temporal sin prácticas de conservación de suelo, se realicen éstas; además que las áreas de pastizal se mantengan y que en la parte media de la cuenca en donde se realicen actividades agrícolas de temporal o de riego se realicen las citadas prácticas de conservación. Los resultados se presentan en la tabla 4. En la misma puede observarse que si se modifica la tendencia actual de deforestación y con prácticas agrícolas (cultivos en fajas, con valores de P igual a 0.4 o 0.3) en las zonas donde se realizan actividades agrícolas de temporal y de riego, la pérdida de suelo disminuye hasta valores del orden de las 8,010.2 toneladas de suelo por hectárea por año, con valores menores en un 60% a los actuales; presentándose valores máximos de 8,010.2 ton/ha/año y valores mínimos de 3.99 ton/ha/año.

Esto da una idea precisa hacia donde deben orientarse los esfuerzos y las inversiones económicas de los órganos de gobierno; es importante indicar aquí que las soluciones de tipo técnico siempre deben ir acompañadas con soluciones de carácter social para que tengan impactos positivos. Es importante no ver los números en forma "fría" y considerar que la técnica por si sola solucionará estos graves problemas de pérdida de suelo.

Por otro lado, la deforestación podría incrementar la erosión. Por ejemplo, en Malasia, las corrientes procedentes de zonas forestales ya explotadas llevan de ocho a 17 veces más carga de sedimentos que antes de explotarlas (Falkenmark y Chapman, 1989). La pérdida real de suelo, sin embargo, depende en buena medida del uso que se le da a la tierra después de que los árboles han sido ya talados. La erosión superficial de praderas bien conservadas, en bosques sin una carga ganadera excesiva y en zonas con agricultura de conservación es de baja a moderada (Bruijnzeel, 1990).

El aporte de sedimentos a la cuenca baja no puede adscribirse de una forma sistemática a los cambios en las prácticas de uso de la tierra en la cuenca alta. Los impactos humanos sobre el aporte de sedimentos podrían ser substanciales en regiones con unas condiciones geológicas estables y tasas de erosión natural bajas. En regiones con tasas de precipitación altas, terrenos con fuertes pendientes y altas tasas de erosión natural, sin embargo, el impacto del uso de la tierra podría ser despreciable, como en la parte de cabecera de la cuenca del Cahocacán. Es importante tener presente que lo que aquí realmente interesa es el valor de erosión hídrica, el aporte de sedimentos finos es un valor que se requiere en caso de que se desee construir alguna obra de almacenamiento (presa) en el área de estudio, sin embargo es necesario indicar que la cuenca del río Cahocacán no presenta las características físicas necesarias para la construcción de tal obra hidráulica.

CONCLUSIONES

Los valores de precipitación media anual son muy grandes en la parte alta de la cuenca, provoca valores de erosividad muy altos en la zona de montaña del orden de los 130,000 MJ*mm/ha*h*año; la precipitación media anual disminuye en las zonas planas cercanas al área de costa, generándose valores de 20,000 MJ*mm/ha*h*año en esta zona. Con estos valores y en las condiciones actuales de uso del suelo se tiene que los valores de erosión hídrica, determinados mediante la EUPS, van desde las 16,270.8 toneladas por hectárea por año en una sección de la microcuenca 1 y hasta valores de 20,025.6 en la microcuenca 2; presentándose valores mínimos de 13.317 ton/ha/año en la microcuenca 9. Los valores encontrados son altamente superiores a los reportados en la bibliografía consultada, en otras regiones y en estimaciones realizadas para el estado de Chiapas.

Suponiendo que continuarán las condiciones de degradación de la cuenca, es decir que se aumentará el área agrícola de temporal, las condiciones que facilitan el fenómeno de erosión se incrementarían, ocasionando un aumento del aporte de sedimentos y de las consecuencias que esto trae consigo. De continuar con las alteraciones de los bosques los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 900%, lo cual es muy grave; modificando una sección de la microcuenca 1 y una sección de la microcuenca 2; es decir, variando la cobertura vegetal de bosque mesófilo a agricultura de temporal, la pérdida de suelo en estas secciones se incrementa considerablemente; esto permite ver la importancia que representa la cobertura vegetal (que se puede decir que depende de las acciones antropogénicas) en la pérdida total del suelo en la cuenca. De modificarse la tendencia actual de deforestación y con prácticas agrícolas (cultivos en fajas, con valores de P igual a 0.4 o 0.3) en las zonas donde se realizan actividades agrícolas de temporal y de riego, la pérdida de suelo se ve ampliamente disminuida, con valores menores en un 60% a los actuales; presentándose valores máximos de 8,010.2 ton/ha/año hasta valores mínimos de 3.99 ton/ha/año. Las microcuencas a las que se les debe poner mayor atención a corto plazo son la 1 (Azul) y 2 (Verde), que son las que presentan la mayor erosión debido a las condiciones topográficas (pendientes fuertes) y a la presencia de prácticas agrícolas no amigables para el ambiente (Figura 8).

BIBLIOGRAFÍA

- Arellano M. J. 1994. *La degradación del suelo por erosión hídrica en Chiapas. Evaluación y principios tecnológicos para su control*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo, México.
- Barrios, A. 2000. *Distribución espacial del factor LS (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles*

- con IDRIS, aplicación en una microcuenca andina. *Revista Forestal Venezolana* 44(1) 2000, 57-64.
- Barrios A. G. y Quiñónez E. 2000. *Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R)USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos*. *Revista Forestal Venezolana* 44(1) 2000, 65-71.
- Baumann J. 1999. *Factores determinantes en el proceso hidrológico erosivo en las cuencas hidrográficas de la Costa de Chiapas*. En Memoria del IX Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas. ANEI. Culiacán, Sinaloa.
- Bifani P. 1997. *Medio Ambiente y Desarrollo*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state-of-knowledge review*. Paris: UNESCO International Hydrological Programme.
- Cortés T. H. 1991. *Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados*. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- ECOSUR. 1999. *Agricultura integrada, ganadería y desarrollo rural de la región del Soconusco, Chiapas, México*. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México.
- Edeso, J.; Marauri, P. y Merino, A. 1995. *Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en los estudios geomorfológicos y medioambientales: el mapa sintético de riesgos potenciales y el mapa de erosión*. *Lurralde: investigación y espacio*. No. 18: 257-291.
- FAO. 1980. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. UNESCO/PNUMA. Roma, Italia.
- Falkenmark, M., y Chapman, T. (eds). 1989. *Comparative hydrology. An ecological approach to land and water resources*, Paris, Francia. UNESCO.
- Ferro V., G. Giordano y M. Lovino M. 1991. *Isoerosivity and erosion risk map for Sicily*. *Hydrological Sciences Journal*. 36 (6) 549-564.
- Gómez R. E., F. A. Galván y L. Morales. 1997. *Influencia de la cuenca hidrológica en el aporte de sedimentos en las lagunas del sistema costero Chantuto-Panzacola*, Chiapas. Reporte para SEMARNAP, PRODER-S Región Costa de Chiapas. Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Iztapalapa. México.
- Gracia S. J. 1997. *Pérdida de suelo en cuencas*. Capítulo 17 del Manual de Ingeniería de ríos. Instituto de Ingeniería. UNAM. México.
- Holeman N. 1968. *The sediment yield of major rivers of the world*. *Water Resource Research*. No. 4.
- Kirkby M. J. y R.P. Morgan. 1984. *Erosión de suelos*. Editorial Noriega-Limusa. México.
- Lal R. 1976. *Soil erosion on alfisol in western Nigeria, Effects of rainfall characteristics*. *Geoderma*. 19: 389-401.
- Maner, S. B. 1958. *Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area*. *Trans. Am. Geoph. Union*, 39:669-675.
- McCool D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler y L.D. Meyer. 1987. *Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation*. *Transactions of ASAE* 30(5); 1387-1396
- Montes M., M. Domínguez y E. Ventura. 1998. *Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando SIG*.
- Retureta A. A. y G.M. Ascanio. 1998. *Obtener y aplicar factores de la ecuación universal por uso del suelo en la subcuenca del río Atopa municipio de Coatepec, Veracruz, México*. En Memorias del 29° Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo: La Investigación Edafológica en México 1997 – 1998. División: Diagnóstico, Metodología y evaluación del recurso suelo, Disciplina: Génesis, Morfología y clasificación de suelos. Tapachula, Chiapas. México.
- Reynoso D. F., M.J. Oropeza, B.J. Ríos y M.R. Medina. 1998. *Erosión hídrica en dos cuencas de la Región Soconusco, Chiapas*. En Memorias del 29° Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo: La Investigación Edafológica en México 1997 – 1998. División: Aprovechamiento del recurso suelo, Disciplina: Conservación del suelo. Tapachula, Chiapas. México.
- Richter M. 1993. *Cambios Hidrológicos en la Zona Cafetalera del Soconusco*. En Investigaciones Eco-geográficas sobre la Región del Soconusco, Chiapas. CIES. México.
- SERNyP. 1996. *Condiciones ecológico-ambientales, perspectivas y estrategias de desarrollo en la Región Hidrológica No. 23 y cabeceras municipales de la Costa de Chiapas*. En Programa de Desarrollo Sustentable Costa de Chiapas. SEMARNAP-INE.