

# IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN LOS RECURSOS SUELO Y VEGETACIÓN

## Impacts of Economic Activities on Soil and Vegetation Resources

Julio Enrique Palacios Sánchez<sup>1</sup>, Enrique Mejía Saenz<sup>1‡</sup>, José Luis Oropeza Mota<sup>1</sup>,  
Mario Roberto Martínez Menes<sup>1</sup> y Benjamín Figueroa Sandoval<sup>1</sup>

### RESUMEN

Las comunidades rurales en la cuenca del río Mayo, en Sonora, México, han sobreexplotado los ecosistemas circundantes para proveerse de alimentos, leña, agua, plantas medicinales y materias primas. Estas actividades han generado efectos ambientales importantes, entre los que destacan: la erosión de los suelos, la pérdida del hábitat de la fauna silvestre y el incremento en el flujo superficial del agua y sus sedimentos. Para conservar las áreas forestales y los servicios ambientales que éstas proveen, la Comisión Nacional Forestal ha promovido la generación de mercados de servicios ambientales. Por lo cual es importante evaluar la erosión del suelo generada por estas actividades económicas y determinar los beneficios obtenidos por la explotación de los recursos naturales y compararlos con los costos de recuperación de las áreas afectadas. El objetivo de este trabajo fue valorar los efectos ambientales negativos y los beneficios obtenidos por grupos de campesinos dentro de las áreas explotadas. Los resultados de esta evaluación indican que la selva baja caducifolia disminuyó su superficie en 32 866 ha durante el período de 1988 a 2004, lo cual incrementó la erosión en 31 596.02 ha, generó beneficios por \$21 963.78 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y requirió de \$8675.33 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para su recuperación. Al solucionar el problema de la pérdida de cobertura vegetal, se puede resolver, en parte, el problema de la erosión; sin embargo, es importante realizar estudios detallados que permitan ubicar las áreas con mayores problemas e implementar programas de recuperación y conservación de suelos.

**Palabras clave:** *percepción remota, sistemas de información geográfica, erosión.*

### SUMMARY

The rural communities in the Mayo River basin, Sonora, México, have overexploited the natural resources and surrounding ecosystems to obtain food, firewood, water, medicinal plants, and raw materials. These activities have generated important environmental effects, among which soil erosion, loss of wildlife habitat, and an increase in runoff and sediments are outstanding. In order to conserve the forest areas and the environmental services that the basin provide, the National Forest Commission has promoted the generation of environmental services markets. Thus, it is important to assess the soil erosion generated by these economic activities, determine the benefits obtained by the exploitation of the natural resources, and compare them to the costs of recovery of the affected areas. The objective of this study was to determine the negative environmental effects and the benefits obtained by groups of farmers within the affected areas of the Mayo River watershed. The results of this evaluation indicate that the area of low deciduous forest decreased by 32 866 ha during the period of 1988 to 2004 which caused an increase in erosion of 31 596.02 ha. The benefits obtained were \$21 963.78 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> and the soil recovery costs were \$8675.33 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. By solving the problem of plant cover loss, the problem of the erosion can be partially solved. Nevertheless, it is important to conduct detailed studies to distinguish areas with greater problems and to implement programs of recovery and soil conservation.

**Index words:** *remote sensing, geographic information systems, erosion.*

### INTRODUCCIÓN

El uso y manejo sostenible de los recursos naturales en las partes altas de las cuencas es fundamental para garantizar la provisión sana de los servicios ambientales. La vegetación es un elemento importante de las cuencas

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (mejiasae@colpos.mx)

Recibido: enero de 2006. Aceptado: julio de 2008.  
Publicado en Terra Latinoamericana 27: 247-255.

hidrológicas; proporciona servicios como la captura de CO<sub>2</sub>, regula el clima y el flujo del agua, es el hábitat de muchas especies de animales, protege al suelo de la erosión y puede ser fuente de materias primas, como madera, leña y postes para cercos (Woodwell *et al.*, 1984; FAO, 1999).

Los bosques de zonas áridas de algunos sitios montañosos tienen un valor económico menor que los bosques húmedos de tierras bajas o los bosques de coníferas debido a que los recursos madereros, en muchos casos, tienen gran importancia ambiental y social local (FAO, 1999). Estas zonas frágiles suelen estar aisladas y económicamente marginadas. En dichas condiciones, la población depende con mayor intensidad de los recursos forestales locales para obtener una gama de productos, como sucede en la cuenca del río Mayo, con la selva baja caducifolia.

Las comunidades rurales en esta parte de la cuenca han sobreexplotado los recursos naturales y ecosistemas circundantes para obtener sus alimentos: energía (leña), agua, plantas medicinales y materias primas. Ante esta situación, uno de los problemas presentes en la cuenca es la extracción de especies vegetales como la vara blanca (*Croton* spp.), la cual se utiliza como guía en la siembra de hortalizas, el mezquite (*Prosopis juliflora*), el palo fierro (*Olneya tesota*), el palo brea (*Cercidium praecox*), la pitahaya (*Stenocereus thurberi*) y el guayacán (*Guaiacum coulteri*), entre otras. Estas especies se utilizan como leña para el hogar o la fabricación de carbón y cercos ganaderos. Tales actividades económicas implican la pérdida de la cobertura vegetal y, por ende, han generado efectos ambientales importantes, entre los que destacan: la erosión de los suelos, la pérdida del hábitat de la fauna silvestre y el incremento en el flujo superficial del agua y sus sedimentos.

Con el fin de impulsar la conservación de las áreas forestales y los servicios ambientales que éstas proveen, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2006) ha promovido, como estrategia, la generación de mercados de servicios ambientales. Para tal efecto, otorga apoyos económicos a los dueños o legítimos poseedores de terrenos con recursos forestales para conservar los servicios ambientales que generan.

Considerando lo anterior, es fundamental evaluar los impactos que generan estas actividades económicas en la erosión del suelo y determinar el beneficio generado por la explotación de la vegetación y compararlo con

el costo de recuperar las áreas afectadas. Esto permitiría rescatar dichos procesos e incorporarlos al ámbito económico como servicios ambientales. Al valorarlos se podría retribuir, por una parte, a quienes protegen y promueven el mejoramiento de los recursos naturales y por otra, internalizar el costo en los precios a los consumidores. La venta de servicios ambientales es una alternativa real y sostenible de ingresos económicos para la familia rural que habita en esta parte de la cuenca; sin embargo, es necesario valorar tanto los efectos ambientales negativos como los beneficios obtenidos por estos grupos de campesinos, para definir las estrategias a seguir en un mercado de servicios ambientales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la parte baja de la cuenca del río Mayo, la cual se ubica en el sur del estado de Sonora y el suroeste del estado de Chihuahua, México. El territorio está dentro de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur. Éste tiene una superficie de 15 067.68 km<sup>2</sup> y comprende siete municipios del estado de Sonora y seis de Chihuahua.

Se evaluaron los cambios que se han dado en la cobertura vegetal de la cuenca del río Mayo, desde 1988 hasta 2004, específicamente en la selva baja caducifolia. Una vez determinados los cambios en la cobertura vegetal, se determinó el impacto en la erosión, utilizando la ecuación universal de la pérdida del suelo (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978) donde la erosión se modeló, manteniendo todos los factores constantes y modificando sólo el factor C. Esto permitió simular la erosión que se tendría con la cobertura correspondiente al inicio del periodo de análisis, en 1988, y compararla con la producida al final del periodo de análisis, en 2004; la diferencia se consideró como el impacto producido por reducción de la cobertura vegetal. Posteriormente, se estimaron los beneficios obtenidos por la vegetación utilizada y los costos económicos requeridos para restaurar los impactos generados y tener la información básica para determinar la viabilidad de un programa de pagos por servicios ambientales.

Para realizar el inventario y caracterizar la vegetación, se emprendieron recorridos de campo para georreferenciar, con un geoposicionador satelital (GPS), las principales formaciones vegetales y ubicarlas en las imágenes de satélite utilizadas. Este recorrido de campo también permitió tomar 50 muestras de suelo para evaluar el factor K de la USLE.

Una limitante en el uso de los modelos de erosión USLE y ecuación universal de la pérdida del suelo revisada (RUSLE) a escalas regionales, es la dificultad de obtener el factor longitud y grado de la pendiente (LS) para utilizarlo en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (van Remortel *et al.*, 2001). Varias aproximaciones para cuantificar la longitud de la pendiente mediante un SIG se han desarrollado, incluyendo las técnicas de acumulación en la cuadrícula del raster (Hickey, 2000), la teoría de la energía unitaria de la corriente (Moore y Burch, 1986), la del área contributiva (Desmet y Govers, 1996) y la triangulación de la red (van Remortel *et al.*, 2001). Entre las más utilizadas se tiene la metodología propuesta por Hickey (2000), basada en el método conocido como máxima pendiente, y la de Mitasova *et al.* (1996) del flujo convergente y el área contributiva (Moore y Burch, 1986; Desmet y Govers, 1996). En todos los métodos se utiliza un modelo de elevación digital (DEM) sin depresiones.

Para clasificar la vegetación de la cuenca se utilizó la técnica de análisis multitemporal comparativo postclasificadorio (Berlanga-Robles *et al.*, 2004) para lo que se adquirieron ocho imágenes del satélite Landsat 5 que cuenta con un sensor mapeador temático (TM) que captura datos de reflectancia en siete bandas para cubrir toda la cuenca. Las escenas seleccionadas corresponden al Path/Row 033/040, 033/041, 034/040 y 034/041, de acuerdo con el Sistema de Referencia Internacional Versión Dos (WRS2); sólo se pudieron obtener fechas 6 de octubre de 1988 y 16 de marzo de 2004, ya que Landsat sólo guarda de dos a tres imágenes por año, las cuales se ajustaron con los valores del Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI) (Rouse *et al.*, 1973), el cual compensa las diferencias estacionales. Estas fechas se seleccionaron con el objetivo de evaluar los cambios en la vegetación con el desarrollo de las diferentes actividades hasta el 2004.

Las imágenes de satélite se trabajaron con el software Idrisi Kilimanjaro 14.0 y se georreferenciaron con puntos conocidos (tomados con GPS) y se obtuvieron recortes del área de estudio. Las imágenes de cada año se clasificaron con el método de máxima verosimilitud para obtener las áreas de cada cobertura vegetal (Eastman, 2003). La vegetación se agrupó en cinco tipos: bosque de pino y encino, selva baja caducifolia, matorral espinoso, matorral bajo y pastizales, y agricultura de riego. Para estimar y modelar la erosión se utilizó la USLE, aplicando técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica (Moore y Burch,

1986; Wijesekera y Samarakoon, 2001; Garatuza-Payán *et al.*, 2005).

### **Factor R (Erosividad de la Lluvia)**

Para obtener el factor R en la parte baja de la cuenca, se utilizaron 13 estaciones meteorológicas automatizadas: siete de la Red Valle del Mayo, Júpatepec, Sahuaral, Mumuncuera, Buaysiacobe, Tres Carlos, Cemay y Tesia, y seis de la parte alta de la cuenca, las cuales pertenecen al Programa del Monzón Norteamericano, Rosario Tesopaco, La Palma y Yécora (ubicadas en Sonora), y El Perico, Ocampo y Moris (ubicadas en Chihuahua). Estas estaciones pueden generar datos cada 5 min, lo cual permitió calcular el valor del índice de erosividad de la lluvia (EI30) de acuerdo con lo establecido por Wischmeier y Smith (1978). Para obtener el mapa de erosividad de la lluvia se hizo un análisis de interpolación espacial de los datos obtenidos en 2004 mediante el método Kriging, utilizando el programa Surfer 8.0, el cual se exportó al SIG Idrisi Kilimanjaro 14.0.

### **Factor K (Erosividad del Suelo)**

Para evaluar el factor K se tomaron 50 muestras de suelos en las partes altas de la cuenca y se obtuvieron los datos adicionales del INEGI (1981). Se obtuvo el porcentaje de limos y arenas muy finas, arena y materia orgánica (Walkley y Black, 1934); también se determinó la permeabilidad con el permeámetro de carga constante. Con los resultados de los análisis de laboratorio se determinó el valor de K, utilizando la ecuación de Wischmeier y Mannering (1969).

### **Factor LS (Longitud y Grado de la Pendiente)**

Para el cálculo del factor LS se utilizó el método propuesto por Mitasova *et al.* (1996). La información que se empleó para este cálculo se basó en la información del Geomodelo Altimétrico del Territorio Nacional (INEGI, 1986), del cual se obtuvo el DEM. Posteriormente, éste se ajustó para eliminar las depresiones.

### **Factor C (Cobertura Vegetal)**

Para estimar el factor C de cobertura vegetal, se utilizaron las composiciones mensuales del NDVI

proporcionadas por el satélite NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), de acuerdo con las relaciones propuestas por Garatuzza-Payán *et al.* (2005):

Factor C para pastizales y matorral xerófito =  $0.4304 - 0.0099 X + 0.00006 X^2$

Factor C para matorral espinoso =  $0.2508 - 0.005 X + 0.00003 X^2$

Factor C para selva baja caducifolia =  $0.326 - 0.0071 X + 0.00004 X^2$

Factor C para pino y encino =  $0.3732 - 0.0084 X + 0.00005 X^2$

donde: X es el valor de NDVI.

### Factor P (Prácticas de Conservación)

El factor P no se tomó en cuenta para evaluar la erosión, por lo que para fines de cálculo este factor fue igual a uno.

El cálculo de la erosión del suelo se realizó utilizando el comando RUSLE del SIG Idrisi Kilimanjaro 14.0; RUSLE utiliza los seis factores de la USLE, pero la tecnología para calcularlos se ha actualizado para utilizar computadoras y se han agregado nuevos datos. Se definieron seis categorías de erosión: 0-5, 5-10, 10-20, 20-50, 50-100 y mayor de 100 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Para estimar los beneficios obtenidos por la vegetación, se aplicaron 120 encuestas en 2005 a usuarios y representantes de comunidades rurales dentro de las áreas de explotación de vegetación de la cuenca. Se realizó un estudio de mercado para leña, carbón, postes para cercos, estacones y varas para la siembra de hortalizas. El estudio consistió en obtener la demanda de madera y sus subproductos en las áreas rurales de la zona y derivadas de la carencia de servicios básicos como electricidad. Además, se determinaron los coeficientes de rendimiento de la madera y sus subproductos directamente en las empresas del ramo forestal de la zona. Asimismo, se estimaron los precios medios de cada uno, a fin de determinar el valor del producto.

Los costos económicos para restaurar los impactos generados se obtuvieron de una empresa constructora de la región con experiencia en este tipo de trabajos, ya que la CONAFOR contrata, en el estado de Sonora, estos trabajos a empresas particulares.

El pago de los servicios ambientales se calculó a través de la diferencia entre los beneficios generados por explotar la vegetación en la cuenca y los costos de recuperar la superficie afectada por los diferentes tipos de erosión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la clasificación de las imágenes de satélite se observan en la Figura 1. La superficie de cada formación vegetal se muestra en el Cuadro 1, donde se observa que la cobertura de la selva baja caducifolia disminuye su superficie en 32 866 ha, lo cual indica una sobreexplotación de este ecosistema, debido al exceso de extracción de las especies antes mencionadas.

La superficie de pino y encino se incrementó debido a que se creó el Parque Nacional Cascadas de Bassasseachic, con 5803 ha, y se expropiaron algunas propiedades para conservar esta área; además, parte de la Zona de Refugio de Fauna Silvestre y Reserva Forestal de Tutuaca se encuentra también dentro de la cuenca, por lo que la mayor parte de las zonas de pino y encino están bajo protección federal. Asimismo la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la CONAFOR tienen varios programas de reforestación en estas áreas, lo cual incide en el incremento en la superficie de pino y encino.

La mayor presencia de matorral espinoso se debe a que éste es una transición entre la selva baja caducifolia y los matorrales xerófitos, como el matorral sarcocraule y el matorral crasicale, y cuando hay afectación de la primera, el matorral espinoso va ocupando su lugar, como vegetación secundaria. El área de riego disminuyó y la no sembrada se clasificó como matorral bajo y matorral espinoso.

### Cálculo de la Erosión del Suelo

Los valores de los factores que componen la ecuación (Figura 2) tuvieron los siguientes intervalos: el factor R de erosividad de la lluvia, 1110.15 a 2700.46 MJ mm ha<sup>-1</sup>; el valor de K, 0.013 a 0.079; los valores de LS, 0 a 72.15; y C, 0.012 a 1.0.

Los resultados de la simulación de la erosión indicaron que los problemas de erosión se presentan principalmente en los municipios de Moris, Uruachi y Rosario, y, en menor grado, en Quiriego, Chínipas, Alamos, Ocampo y Yécora. Los valores de erosión máxima para el evento simulado se presentan

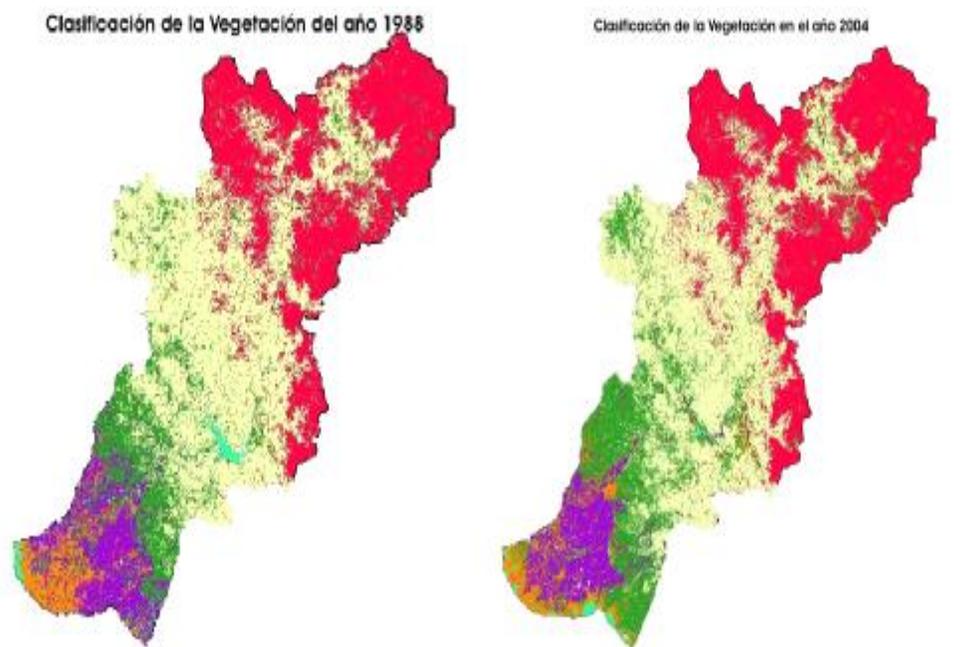


Figura 1. Clasificación de las imágenes de satélite de 1988 y 2004. El color de las áreas representa el tipo de vegetación: rojo, pino y encino; amarillo, selva baja caducifolia; verde, matorral espinoso; anaranjado, matorral bajo y pastos; y morado, área agrícola.

en la Figura 3 e indican que con la cobertura vegetal de 1988 se tenían niveles máximos de erosión de 199.41 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y, para 2004, éstos subieron hasta 222.78 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La erosión que más se incrementó fue la mediana, alta y muy alta. En el Cuadro 2 se observa un incremento de la erosión apreciable en este período de 31 596.02 ha.

El incremento en la superficie de erosión coincide con el área donde se ubica la selva baja caducifolia, la cual disminuyó en 32 866 ha, lo que indica que el cambio de uso del suelo está generando una mayor erosión.

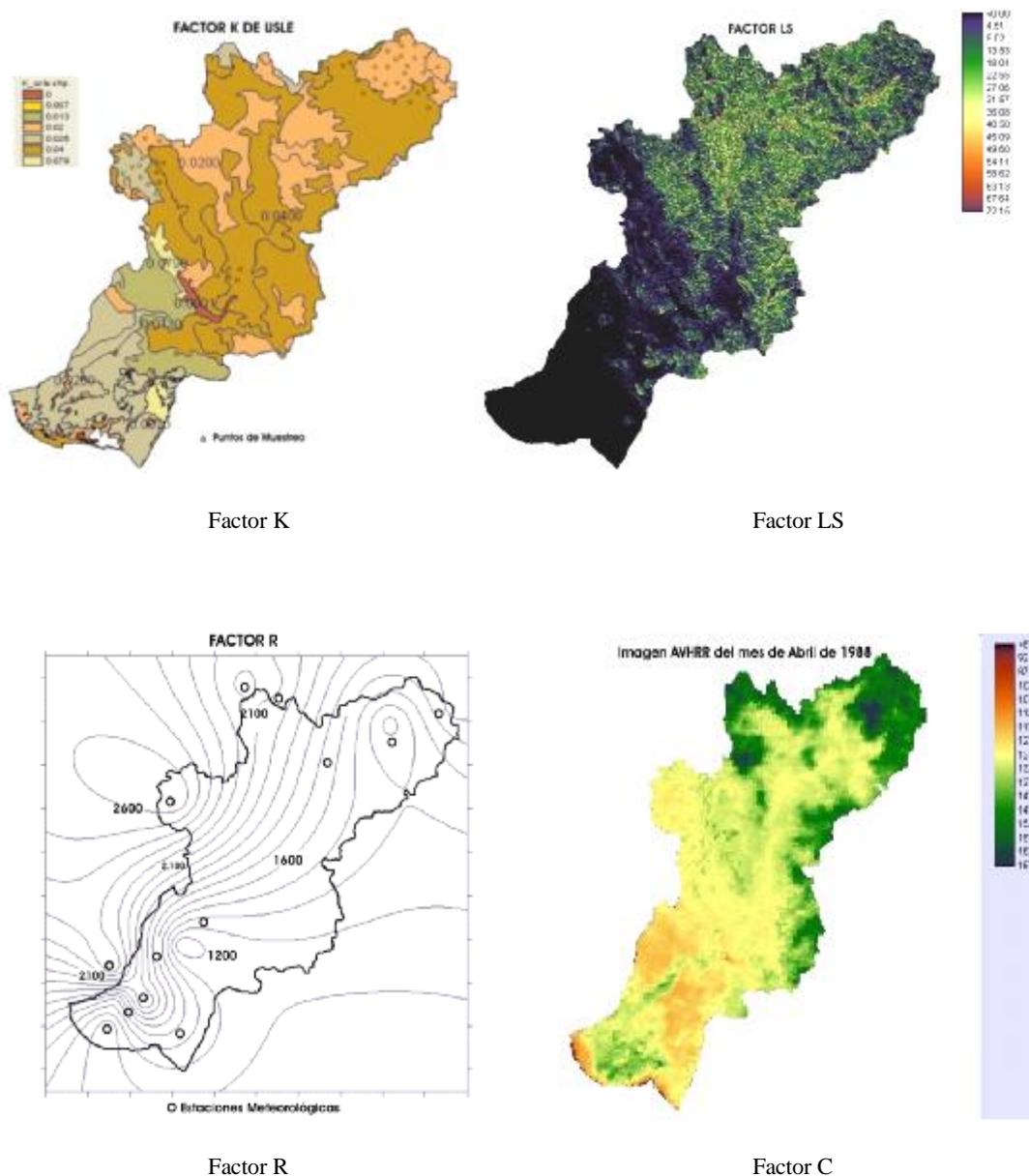
Al comparar esta información con la obtenida por la SEMARNAT (2002) en la región hidrológica del sur de Sonora, algunos valores son similares a los obtenidos en 2004. Los valores de erosión muy alta y alta son similares: 0.52 y 0.65% en la muy alta y 4.36 y 4.42% en la alta (Cuadro 3); en cambio, la erosión nula y moderada varió de 63.55 a 40.04% en la nula; 19.20 a 27.62% en la moderada; y 12.36 a 17.28% en la ligera.

La diferencia entre estos valores se debe a que la SEMARNAT, además de la cuenca del río Mayo, considera a las cuencas de los ríos Yaqui y Mátape, los cuales conforman la Región Hidrológica IX. En el caso del río Yaqui, el área comprende hasta Estados Unidos, por lo tanto, no se evaluó y, por ende, se considera erosión nula.

En el Cuadro 4 se observan los valores de erosión obtenidos con el SIG. La selva baja caducifolia presenta la mayor pérdida de suelo de los tres tipos de vegetación, debido a que el valor del factor C se incrementa por la deforestación. Además, esta vegetación se desarrolla en lomeríos con pendientes altas, a diferencia del matorral espinoso que, aunque tiene menos cobertura, se desarrolla en pendientes más suaves y con valores de R más bajos. En pino y encino, debido a la cobertura que tienen, la erosión es menor. Estos datos son similares a los obtenidos por Navar y Synnott (2000), quienes evaluaron la erosión del suelo en lotes experimentales

Cuadro 1. Cambios en la cobertura vegetal en la cuenca del río Mayo.

Año	Pino y encino	Selva baja caducifolia	Matorral espinoso	Matorral bajo	Riego
	ha				
1988	459 970	636 762	202 322	56 412	133 466
2004	463 380	603 896	261 354	65 780	94 522
Cambio desde 1988	0.74%	-5.16%	29.18%	16.61%	-29.18%



**Figura 2. Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.**

de escorrentía en la planicie costera del norte del golfo de México, y encontraron que las pérdidas de suelo en bosque espinoso natural fueron menores que en uso de suelo agrícola y pastizales, usos a los que se cambia la selva baja caducifolia.

### **Valoración de los Beneficios Obtenidos por la Extracción de Plantas**

Los resultados del estudio de mercado y las encuestas indicaron que, en promedio, 22% de las comunidades rurales de esta parte de la cuenca carecen de servicios

básicos como agua y electricidad, por lo tanto, la leña es su principal fuente de energía. El costo promedio de la carga de 40 palos es de \$45.00 y los requerimientos de leña para autoconsumo se estimaron en un promedio de 43 750 cargas de 40 palos por mes. Aunque es variable y depende de la época del año, el valor estimado del autoconsumo fue de \$23 625 000.00. El carbón es un insumo importante para preparar los alimentos y tiene un consumo elevado; la mayor demanda se da en las taquerías y, en promedio, cada taquería consume medio costal de 40 kg por día. A esto se aúna el consumo en los restaurantes y los hogares, los cuales compran

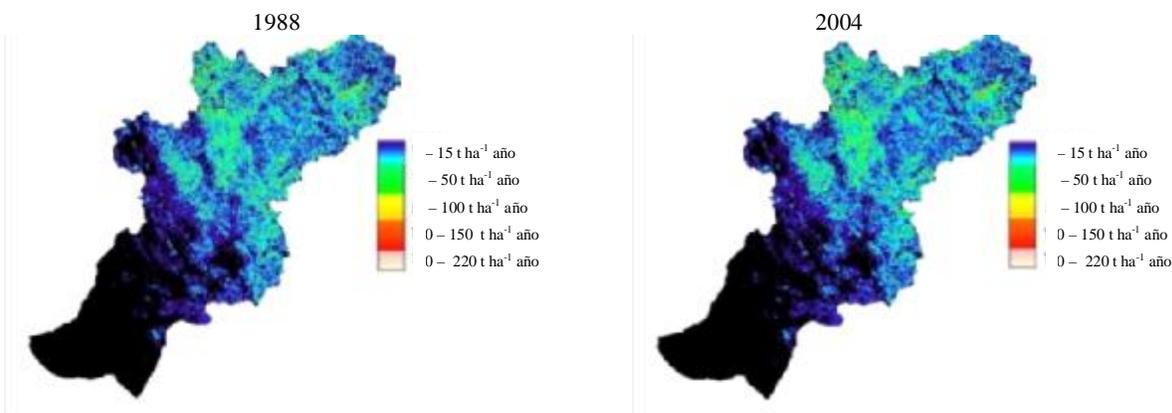


Figura 3. Erosión del suelo en 1988 y 2004.

el carbón en bolsas de 3 kg. El valor anual de la venta de carbón es de \$1 057 680.00. Después de la leña de autoconsumo, la explotación de la vara blanca es la actividad que más beneficios deja, con un valor de \$18 480 000.00, y se debe a que por cada hectárea de hortalizas que requiere guía, como el tomate, el pepino y el chícharo chino, se necesitan 2500 estacones y 14 000 varas, que tienen un promedio de vida de cinco años, por lo que sólo se consideró la quinta parte de lo requerido en un año. En el Cuadro 5 se resumen los datos de consumo y su valor monetario; en total, los beneficios estimados son de \$43 927 560.00. Si se considera una tasa de uso de 2000 ha año<sup>-1</sup>, los ingresos unitarios son de \$21 963.78 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los costos de las obras de conservación se pueden observar en el Cuadro 6.

Los costos de trabajos contratados no son similares a los de CONAFOR (2004), que considera los materiales existentes en la zona y las plantas de reforestación provienen de viveros cercanos, situación que no se da en este caso, los cuales deben de ser muchas veces

Cuadro 2. Tasa de erosión del suelo.

Tasa de erosión	Superficie 1988	Superficie 2004
Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	-----	ha -----
Erosión inapreciable de 0 a 5	428 671.07	406 829.86
Erosión ligera de 5 a 10	185 298.59	175 543.78
Erosión moderada de 10 a 20	204 965.21	202 928.64
Erosión mediana de 20 a 50	161 703.51	179 319.31
Erosión alta de 50 a 100	32 975.76	44 889.76
Erosión muy alta mayor de 100	2 492.91	6 595.70
Total	1 016 107.05	1 016 107.05

comprados y transportados de otras partes. Con estos datos se estimó un costo de \$5200.00 ha<sup>-1</sup> para recuperar suelos degradados con erosión moderada, \$7800.00 ha<sup>-1</sup> para suelos con erosión severa y \$10 500.00 ha<sup>-1</sup> para suelos con erosión muy severa. De acuerdo con el Cuadro 2, se tiene que la erosión media o moderada se incrementó en 17 615.80 ha, por lo que el costo de recuperación sería de \$91 602 160.00; para el caso de la erosión alta o severa, la superficie se incrementó en 11 914 ha, por lo que el costo de recuperación sería de \$92 929 200.00; para la erosión muy alta o muy severa,

Cuadro 3. Comparación de erosión del suelo Región Hidrológica Sonora sur y los datos obtenidos en la cuenca del río Mayo.

Tasa de erosión	SEMARNAT (Sur de Sonora)	1988	2004
	----- % -----		
Nula 0 a 5	63.55	42.19	40.04
Ligera 5 a 10	12.36	18.24	17.28
Moderada 10 a 50	19.20	36.08	37.62
Alta 50 a 200	4.36	3.25	4.42
Muy alta mayor de 200	0.52	0.25	0.65

Cuadro 4. Valores de erosión obtenidos mediante el Sistema de Información Geográfica para tres tipos de cobertura.

Cobertura	R <sup>†</sup>	LS <sup>‡</sup>	K <sup>§</sup>	C <sup>¶</sup>	Erosión
Matorral espinoso	1400	4	0.025	0.43	60.20
Selva baja caducifolia	1780	13	0.021	0.38	184.66
Pino y encino	2000	16	0.028	0.07	62.72

† R = erosividad de la lluvia (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>); ‡ LS = longitud y grado de la pendiente; § K = erosionabilidad del suelo (Mg ha<sup>-1</sup> [MJ mm Ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>]); ¶ C = cobertura vegetal (adimensional).

**Cuadro 5. Valor de los beneficios obtenidos de la selva baja caducifolia.**

Concepto	Costo	Consumo	Valor
	\$	\$ mes <sup>-1</sup>	\$ año <sup>-1</sup>
Leña (carga de 40 palos)	45	43 750	23 625 000
Carbón 3 kg venta directa	16	980	188 160
Carbón 3 kg supermercado	20	1 200	288 000
Carbón saco 40 kg	55	2 040	1 346 400
Estación 3" x 2 m	6.5	1 120 000	7 280 000
Vara 1.5" x 2 m	5	2 240 000	11 200 000
Total			43 927 560

**Cuadro 6. Costos de las obras de conservación.**

Concepto	Unidad	Costo unitario
		\$
Zanjas de infiltración	m <sup>†</sup>	26.35
Microterrazza con escarificado	ha	3785.74
Subsuelo con camellón	ha	2704.15
Empalizada	m <sup>2</sup>	571.01
Dique de postes	m <sup>2</sup>	753.70
Muro de sacos	m <sup>2</sup>	133.04
Muro de piedras	m <sup>†</sup>	81.91
Plántula para reforestación	cepa	5

<sup>†</sup>m = metros lineales.

Fuente: Majal Constructora S.A. de C.V., Huatabampo, Sonora, México. Diciembre, 2005.

la superficie se incrementó en 4102.79 ha, con un costo de recuperación de \$43 079 292.00, para un total de \$277 610 655.00. Este último valor sería el impacto económico de la erosión del suelo, por lo que el costo unitario de 32 000 ha<sup>-1</sup> en la selva baja caducifolia sería, en promedio, de \$8675.33 ha<sup>-1</sup>. De esta manera, el pago de los servicios ambientales corresponde a la diferencia entre los beneficios obtenidos por la explotación de vegetación de \$21 963.78 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y el costo promedio de recuperación de superficie afectada, por lo que el valor estimado del pago por los servicios ambientales en la selva baja caducifolia fue de \$13 288.45 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIONES

- En la evaluación realizada se encontró que la selva baja caducifolia disminuyó su cobertura en 32 866 ha, que representan 5.16% del total; el área que se ha perdido se ha sustituido por matorral espinoso, vegetación que tiene menos cobertura, lo cual ha ocasionado una

mayor erosión de los suelos. La erosión del suelo se incrementó en 31 596 ha, de 1988 al 2004, principalmente la erosión media, 1.74%; alta, 1.17%; y muy alta, 0.41%.

- Los beneficios obtenidos por explotar la vegetación se estimaron en \$21 963.78 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los costos de recuperación de la superficie afectada se estimaron en \$8675.33 ha<sup>-1</sup>. Un valor estimado de pago por los servicios ambientales en la selva baja caducifolia fue de \$13 288.45 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Si se soluciona el problema de la pérdida de cobertura vegetal, se puede resolver en parte el problema de la erosión; sin embargo, es importante realizar estudios detallados que permitan particularizar áreas con mayores problemas e implementar programas para recuperar y conservar los suelos.

## LITERATURA CITADA

- Berlanga-Robles, C. A., J. Acosta-Velázquez, A. Ruiz-Luna y N. A. Trilles-Ríos. 2004. Tendencias de cambio en el bosque de manglar y paisaje del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales, México, de 1990 al 2000. Una aproximación con el uso de imágenes Landsat. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Mazatlán, Sinaloa, México.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2004. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. CONAFOR. D. F., México.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2006. Reglas de Operación de los Programas de Desarrollo Forestal de la Comisión Nacional Forestal. CONAFOR. D. F., México.
- Desmet, P. J. J. and G. Govers. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *J. Soil Water Conserv.* 51: 427-433.
- Eastman, J. R. 2003. IDRISI Kilimanjaro guide to GIS and image Processing. Manual Version 14.00. Clark University. Worcester, MA, USA.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1999. Situación de los bosques del mundo. Código FAO 36, Roma, Italia. [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=//docrep/w9950s/W9950s00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=//docrep/w9950s/W9950s00.htm) (Consulta: octubre 13, 2005).
- Garatuza-Payán, J., R. Sánchez-Andrés, S. Sánchez-Carrillo, and J. M. Navarro. 2005. Using remote sensing to investigate erosion rate variability in a semiarid watershed, due to changes in vegetation cover. *IAHS Publ.* 292: 144-151.
- Hickey, R. 2000. Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography* 29: 1-8.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1981. Carta edafológica, escala 1:1 000 000. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1986. Geomodelos de altimetría del territorio nacional (GEMA). Aguascalientes, Ags., México.
- Mitasova, H., J. Hofierka, M. Zlocha, and L. R. Iverson. 1996. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int. J. Geogr. Info. Sci.* 10: 629-641.

- Moore, I. and G. Burch. 1986. Modeling erosion and deposition: topographic effects. *Trans. ASAE*. 29: 1624-1630.
- Návar, J. y T. J. Synnott. 2000. Escorrentía superficial, erosión edáfica y uso del suelo en el noreste de México. *Terra* 18: 247-253.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1: 309-317.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000. SEMARNAT. D. F., México.
- Van Remortel, R. D., M. E. Hamilton, and R. Hickey. 2001. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data within ArcInfo GRID. *Cartography* 30: 27-35.
- Walkley, A. and I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wijesekera, S. and L. Samarakoon. 2001. Extraction of parameters and modeling soil erosion using GIS in grid environment. Centre for Remote Sensing and Processing (CRISP). <http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001/pdf/169wijes.pdf> (Consulta: agosto 16, 2005).
- Wischmeier, W. H. and J. Mannering. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 131-137.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall-erosion losses: a guide for conservation planning. US Department of Agriculture. Washington, DC, USA.
- Woodwell, G. M., J. E. Hobbie, R. A. Houghton, J. M. Melillo, B. Moore, A. B. Park, B. J. Peterson, and G. R. Shaver. 1984. Measurement of changes in the vegetation of the earth by satellite imagery. pp. 221-240. *In:* G. M. Woodwell (ed.). The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle. John Wiley. New York, NY, USA.