

EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN UTILIZANDO EL MODELO (R)USLE, CON APOYO DE SIG. APLICACIÓN EN UNA MICROCUENCA DE LOS ANDES VENEZOLANOS

Alex G. Barrios R.¹ y Esneira Quiñonez²

¹Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP). E-Mail: abarrios@forest.ula.ve. ²Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). E-Mail: qesneira@cidiat.ing.ula.ve

RESUMEN

Comparando espacialmente las tasas de erosión correspondientes a los años 1966 y 1996, se evalúa la distribución de los cambios ocurridos durante este período en la cuenca del río Burbusay, Estado Trujillo. Las tasas de erosión fueron calculadas aplicando el modelo (R)USLE en un ambiente SIG-IDRISI: RUSLE para el cálculo del factor topográfico (LS); y USLE, para los demás factores (R, K y C). Los dos parámetros necesarios para el cálculo del factor LS, la longitud (λ) y la pendiente (p) del terreno, se estimaron de un modelo digital de elevaciones (MDE), aplicándose, en el caso de λ , un algoritmo de flujo para estimar el área acumulada de drenaje hasta cada pixel.

Los resultados indican poca variación en la tasa media de erosión dentro de la cuenca, pero sí cambios significativos en la distribución espacial del fenómeno, observándose que las áreas con elevada tasa erosiva, ubicadas al norte en 1966, se han desplazado hacia el sur en 1996.

Palabras clave: erosión en cuencas, USLE, RUSLE, SIG en manejo de cuencas.

ABSTRACT

Spatial distribution of erosion changes in river Burbusay's watershed, Trujillo State, was evaluated by comparing erosion spatial coverage of 1966 and 1996. (R)USLE was applied to calculate erosion rates in IDRISI's environment: RUSLE in order to calculate LS factor and USLE for other erosion factors: R, K, C. Two required parameters for the calculation of LS factor, slope length (λ) and slope gradient (p), were estimated through a digital elevation model (DEM); for λ assessment an algorithm of flow to estimate accumulated area of drainage for each pixel was applied. Results show low variation in watershed's mean erosion rate but with important changes in its spatial distribution. The high erosion rates located at north in 1966, shifted towards south in 1996.

Key words: watershed erosion, USLE, RUSLE, GIS in watershed management.

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es un fenómeno ampliamente generalizado en las cuencas altas andinas, sobre todo en aquellas donde la actividad agrícola es preponderante. Se espera que a mayores tasas de conversión de tierras forestales en tierras agrícolas, mayores serán los impactos sobre la erosión, sobre todo si no se implementan medidas para el manejo conservacionista del suelo. Inicialmente los cambios en las tasas de erosión se evaluaban, generalmente, a través de mediciones o predicciones puntuales, en parcelas o perfiles de ladera. Cuando se hacían a escala

de cuencas hidrográficas se referían a valores de la tasa media de erosión sobre su superficie. El análisis espacial de la erosión era poco frecuente por la demanda en tiempo y procesamiento de información.

En la actualidad, con el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se potencian los métodos disponibles para la evaluación de la distribución espacial del fenómeno erosivo, tales como la USLE (Wischmeier y Smith, 1978) y RUSLE (Renard et al., 1997), extendidas a cuencas hidrográficas.

El objetivo del trabajo es evaluar la distribución espacial de los cambios en las tasas de erosión en una microcuenca andina, a partir de la cobertura vegetal de dos períodos de tiempo diferentes. Para ello, se aplica el modelo (R)USLE a escala de cuencas, usando el SIG IDRISI y otros programas que manejan información espacial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección del área de estudio

Se seleccionó la microcuenca del río Burbusay, de 152 Km² de superficie, afluente de la subcuenca del río Carache, el cual es uno de los principales afluentes del río Motatán en el Estado Trujillo, Venezuela. Esta selección obedece a que se dispone de suficiente información básica (SHT, 1999), incluyendo mapas digitalizados sobre topografía y cobertura vegetal.

La microcuenca del río Burbusay representa una microcuenca de montaña, típica para paisajes semiáridos, con elevadas pendientes (40% de pendiente media), y escasa cobertura vegetal, pues posee un 15% de área desnuda, siendo la vegetación predominante (50% del área) el matorral medio y ralo. Sólo 10% de su superficie está bajo bosque. Las tierras agrícolas, de cultivos en valles y laderas, ocupan un 20% del área. La lluvia anual promedio es de 900 mm (1950-1994), con profundidades máximas de 0.5 h de duración variando mensualmente entre 15 y 43 mm. Los suelos son predominantemente franco-arcillosos.

Métodos

Se estima la erosión laminar y en surco, de manera distribuida sobre la superficie de la cuenca, aplicando (R)USLE (Wischmeier y Smith, 1978, y Renard et al., 1998) sobre cada celda raster de una cobertura SIG. USLE y RUSLE se definen igual, los cambios radican en los procedimientos para estimar los factores erosivos, expresándose en el sistema métrico internacional (SI), como:

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

donde:

A pérdida de suelo en Mg / ha.año,

R factor erosividad de la lluvia en (Mj.mm) / (ha.h.año),

K factor erosionabilidad del suelo en (Mg. ha. h) / (ha.Mj.mm),

L factor longitud del terreno (adimensional),

S factor pendiente del terreno (adimensional),

C es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional), y

P es el factor prácticas de conservación (adimensional).

Factor R

A partir de registros mensuales de lluvia, se estimó de manera indirecta el valor del factor R en seis estaciones climatológicas cercanas al área de la cuenca, aplicándose la ecuación empírica presentada por Páez (1989) para la estación climatológica Santa Ana (2147). La distribución espacial de R se obtuvo por interpolación de los valores puntuales, mediante la aplicación del programa SURFER 6.0.

Factor K

Se elaboró una cobertura SIG del factor K a partir de un mapa de unidades de suelo (SHT, 1999), asignándose a cada unidad la erosionabilidad calculada con el Nomograma de Wischmeier y Smith (1978), correspondiente a los datos de granulometría, textura, permeabilidad y materia orgánica que se obtuvieron de perfiles de suelo representativos.

Factor LS

El factor LS se calculó aplicando las ecuaciones usadas en RUSLE (Renard et al., 1997) y teniendo como punto de partida un modelo digital de elevaciones (MDE), elaborado mediante digitalización de curvas de nivel a intervalos de 100 m y su posterior rasterización e interpolación en IDRISI. Con el propósito de mantener una buena precisión en la elaboración del modelo digital de elevaciones (MDE), se utilizaron coberturas raster de 750.000 píxeles: 1000 filas x 750 columnas, con píxeles de 20 m x 20 m.

El factor LS es el producto de los subfactores longitud (L) y pendiente (S) del terreno, quienes se calculan con las siguientes expresiones algebraicas (McCool et al. 1987 y 1989, y Foster et al.1977):

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad (2)$$

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (3)$$

$$\beta = \{(\text{sen } \theta / 0.0896) / [3.0 (\text{sen } \theta)^{0.8} + 0.56]\} * r \quad (4)$$

$$S = 10.8 \text{ sen } \theta + 0.03; \text{ para } p < 9\% \quad (5a)$$

$$S = 16.8 \text{ sen } \theta - 0.50; \text{ para } p \geq 9\% \quad (5b)$$

donde:

- λ longitud del terreno (m)
- m exponente variable según β
- β relación erosión en surco a erosión en entresurco
- θ ángulo de inclinación del terreno
- π pendiente del terreno (%)
- r coeficiente igual a: 0.5, en tierras forestales o pastizales; 1.0, en terrenos agrícolas; y 2.0, en sitios de construcción

La distribución espacial de l dentro de la cuenca se determinó mediante un MDE y aplicando la aproximación usada en CALSITE (Bolton et al., 1995), citado por Barrios (1999):

$$\lambda = (\text{área acumulada de flujo} / 3.1416)^{0.5} (6)$$

El área acumulada de flujo se calculó mediante el algoritmo de Biesemans (1997), el cual determina el área acumulada de drenaje hasta cada celda a partir de un MDE (Barrios, 1999).

La distribución espacial de la pendiente del terreno (p) se derivó directamente del MDE usando el análisis de superficie en IDRISI.

Factor C

El factor C se determinó, de manera distribuida en el espacio, para dos años diferentes, 1966 y 1996, partiendo de los respectivos mapas digitales de cobertura vegetal (SHT, 1999). En las tierras forestales, se asignaron valores de C a cada tipo de vegetación siguiendo una simplificación de la metodología de Dissmeyer y Foster (1982), estimándose algunos de sus parámetros a partir de observaciones de campo. En las tierras agrícolas, se asignó un valor de C promedio anual, calculado considerando las distintas rotaciones de cultivo que se dan en el área y ponderando según la distribución anual del factor R en la cuenca.

Factor P

Se asumió un valor del factor P igual a 1.0, al considerarse que en las zonas agrícolas no se aplican las prácticas de conservación evaluadas por este factor.

Los pasos seguidos durante el modelaje cartográfico con el SIG, necesarios para el cálculo de la erosión según (R)USLE, se presentan en forma esquemática en la Figura 1.

Las coberturas SIG sobre erosión, calculadas para los años 1966 y 1996, se compararon entre sí mediante operaciones lógicas y aritméticas, obteniéndose como

resultado los sitios (y magnitud) donde la erosión incrementó, decreció o se mantuvo constante.

Materiales

Mapas digitalizados de topografía y cobertura vegetal, años 1966 y 1996; mapa de unidades de suelo e información de perfiles; registros mensuales de precipitación en 6 estaciones de clima, período 1941-1994. Las coordenadas UTM que definen los mapas digitales son, en metros: E 355.000 a E 370.000; y N 1.036.000 a N 1.056.000

Software básico: IDRISI para Windows 2.0, SURFER 6.0, WTRSHED (Biesemans, 1997)

Hardware utilizado: PC Pentium Intel de 200 MHz, bajo Windows98, con 64 Mb en RAM y 3.0 Gb en disco duro. Sistema de Hardware de CeCALCULA: SGI Origin 2000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se presenta el modelo digital de elevaciones obtenido con IDRISI (orden Intercon), así como las coberturas resultantes sobre pendiente (%) y longitud del terreno (m).

En la Figura 3 se muestran las coberturas intermedias sobre los distintos factores erosivos de (R)USLE: R, K, LS (1966 y 1996) y C (1966 y 1996), y en las Figuras 4(a) y 4(b) las coberturas finales sobre la erosión calculada en cada año. Se trata, en todos los casos, de coberturas clasificadas a objeto de mejorar su visualización en papel.

Una comparación visual de las coberturas de erosión de cada año, permite observar que ha ocurrido un desplazamiento de los sitios con altas tasas erosivas, más que un cambio generalizado de las tasas medias de erosión. En efecto, como se muestra en el Cuadro 1, la erosión media en la cuenca es 135 y 129 Mg/ha/año para 1966 y 1996 respectivamente.

Un análisis aritmético simple, entre la erosión de 1966 y 1996, permite precisar los sitios donde ocurrieron los cambios en la tasa erosiva, tal como se ilustra en la Figura 4(c); así como también, la magnitud de los cambios: Figuras 4(d) y 4(e) para incrementos y decrementos respectivamente. En el Cuadro 2 se muestra comparativamente algunos parámetros estadísticos de las dos últimas coberturas, observándose que, en términos relativos, la superficie donde incrementó la tasa erosiva, un 30% del área,

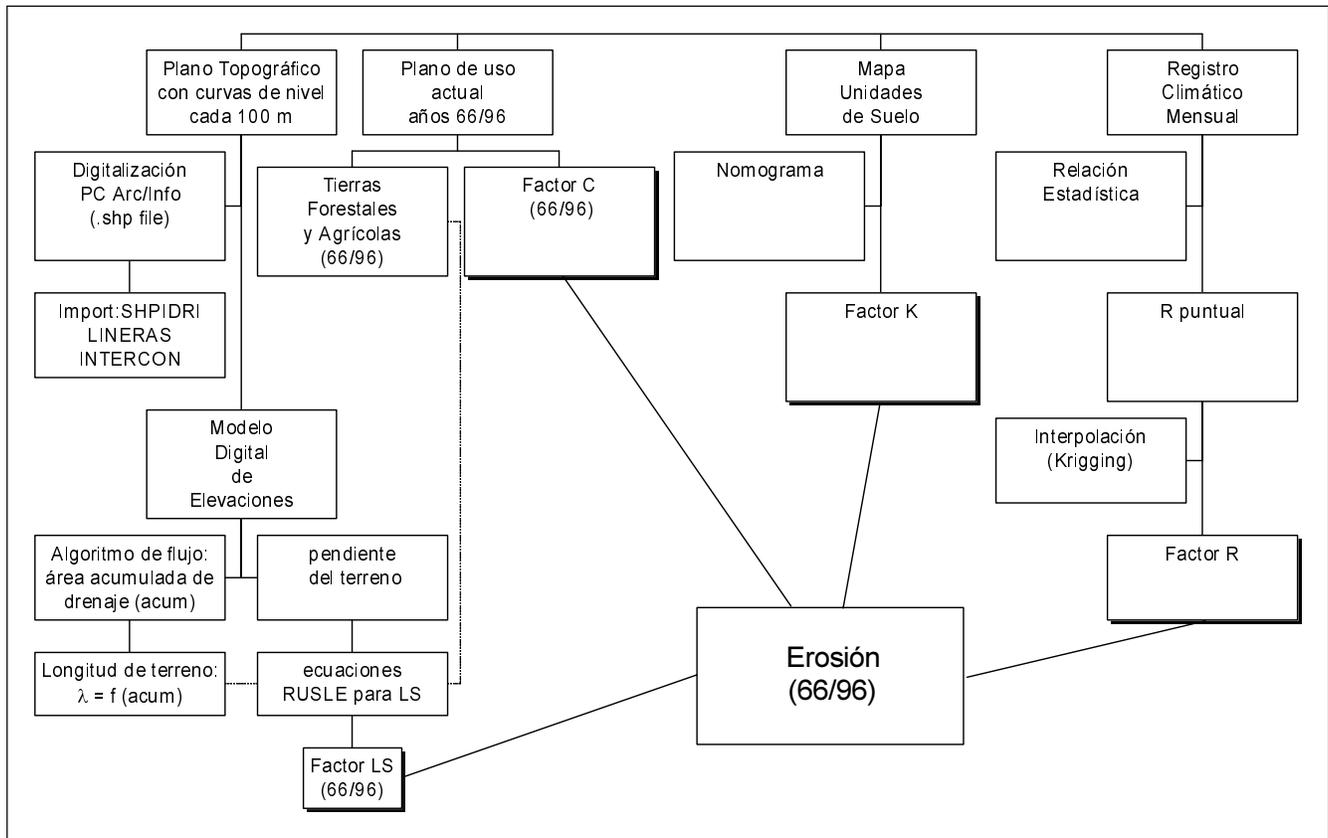


Figura 1. Esquema del modelaje cartográfico

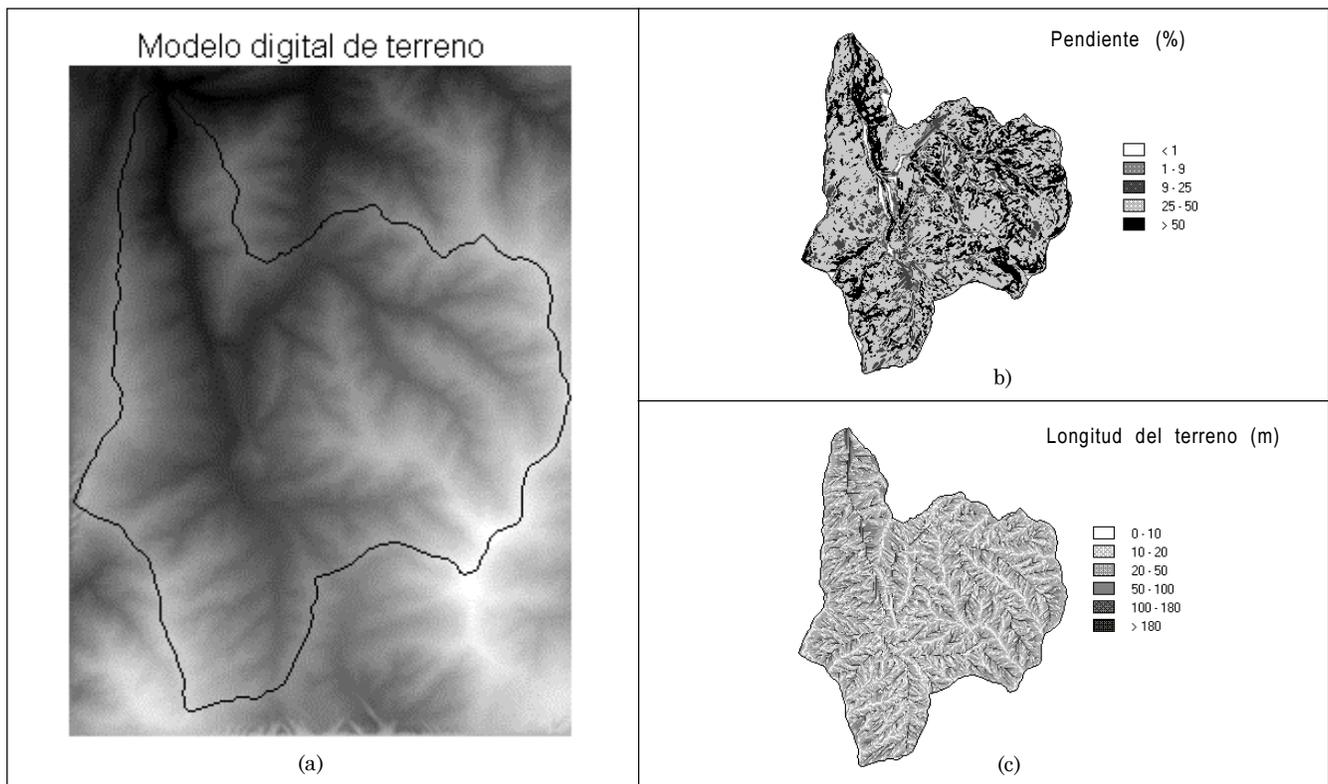


Figura 2. MDE, pendiente y longitud del terreno.

Cuadro 1. Estadísticos de la erosión resultante (Mg/ha/año)

Estadísticos	Erosión 1966	Erosión 1996
Media	135	129
Desv. Estándar	226	217
Máxima	3000	3000
Mínima	0	0

Cuadro 2. Estadísticos de la tasa de erosión (Mg/ha/año) en los sitios de cambio

Estadísticos	Sitios con incremento	Sitios con decremento
Media	57	64
Desv. Estándar	158	166
Máxima	2900	2800
Superficie (%)	32	31

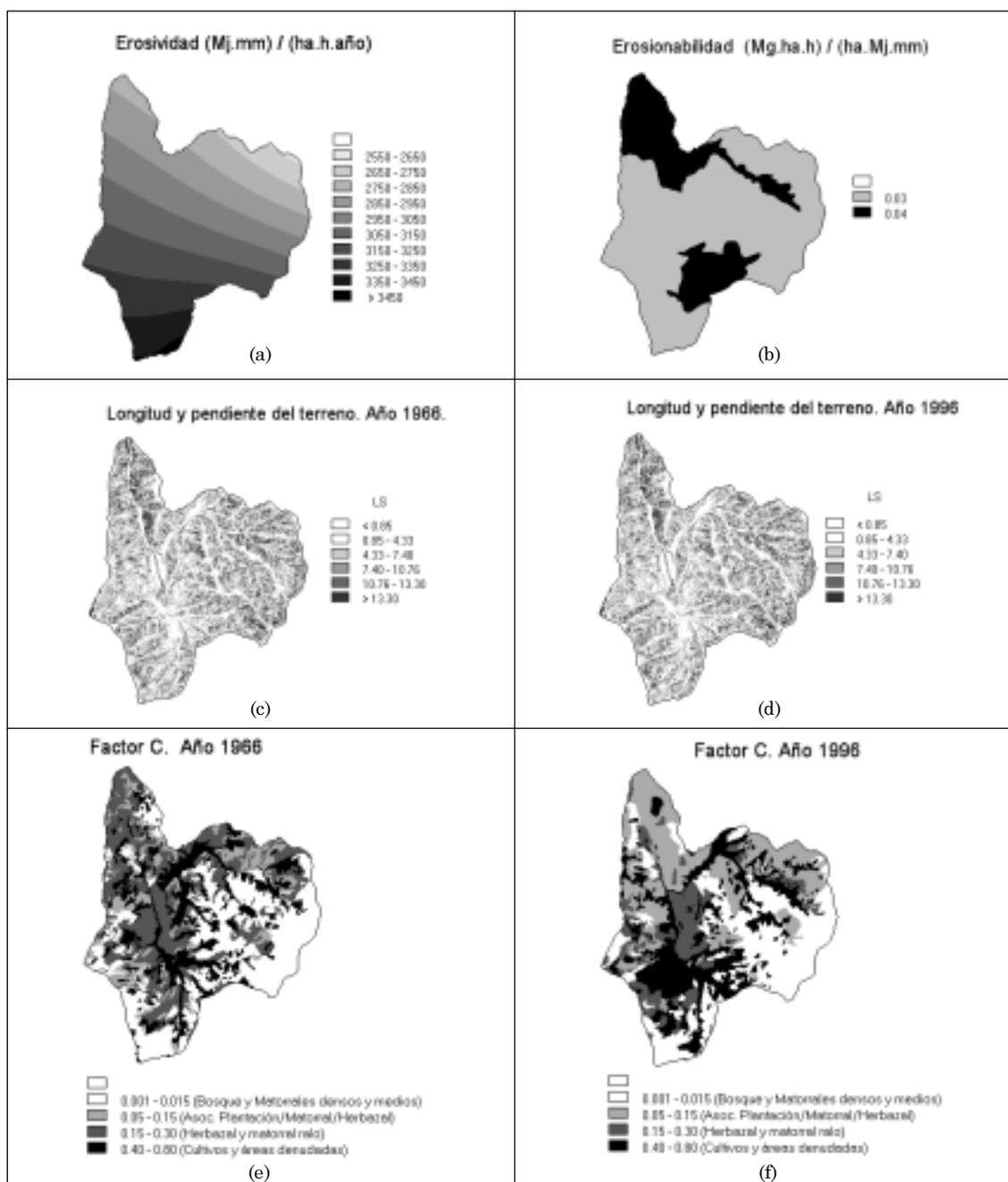


Figura 3. Factores de erosión de USLE/RUSLE

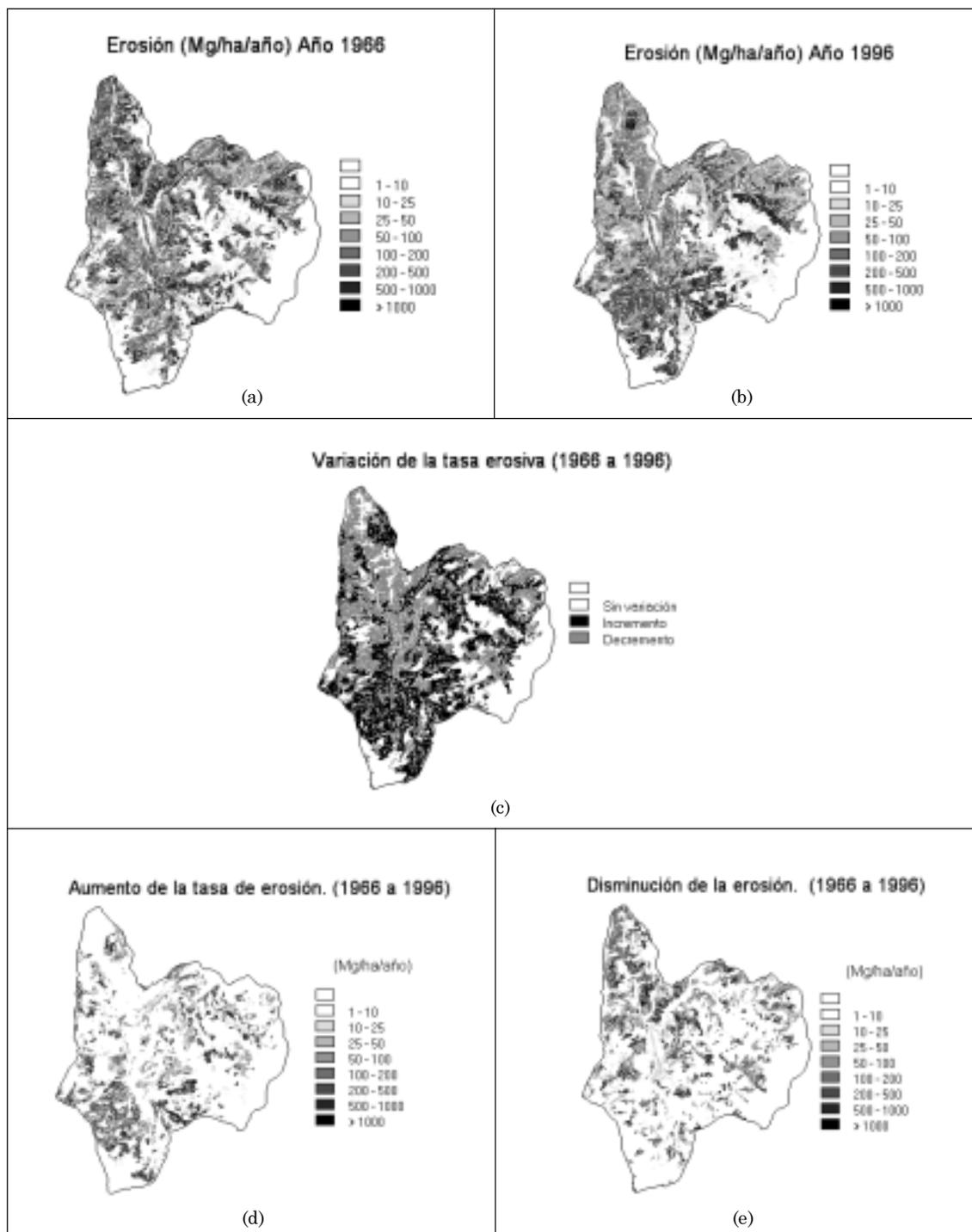


Figura 4. Cambios en la distribución espacial de la erosión.

es de igual tamaño a la superficie donde se produjo decremento de la erosión. Además, el valor medio del decremento, 64 Mg/ha/año, es ligeramente superior al valor medio del incremento, 57 Mg/ha/año. Complementariamente, en la Figura 5 se observa que las frecuencias relativas entre clases de erosión

siguen distribuciones similares en ambos años. Se concluye, entonces, que la distribución espacial de la erosión, evaluada por (R)USLE, ha cambiado significativamente dentro de la cuenca del río Burbusay, pero sus magnitudes medias se mantienen casi constantes.

AGRADECIMIENTO

Al CDCHT de la Universidad de Los Andes, por el financiamiento del estudio; al Sistema Hidráulico Trujillano (SHT) por permitirnos el uso de la información básica sobre la cuenca; al Dr. Jan Biesemans, de la Universidad de Gent, Bélgica, por facilitarnos su algoritmo de flujo (wtrshed.c); al CIDIAT por permitirnos el uso de sus licencias sobre IDRISI para Windows y SURFER; y al Centro de Cálculo Científico de la Universidad de Los Andes, CeCALCULA, quien facilitó el uso de sus computadores de alto rendimiento.

subcuenca río Carache, cuenca río Motatán, Estado Trujillo. Proyecto desarrollado por UFORGA y CIDIAT, Universidad de Los Andes, para el Sistema Hidráulico Trujillano. Mérida.

WISCHMEIER, W. H. y D.D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook 537. USDA-SCS. 58 p.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIOS, A. 1999. Distribución Espacial del Factor LS (RUSLE) usando Procedimientos SIG compatibles con IDRISI: aplicación en una microcuenca andina. (Sin publicar)
- BIESEMANS, J. 1997. «WTRSHED.C Program». Dept. Soil Management, University Gent.
- DISSMEYER, G.E. y G.R. FOSTER. 1982. A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land. U.S. Department of Agriculture Washington D.C. USA.
- FOSTER, G.R., L.D. MEYER, y C.A. ONSTAND. 1977. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. Transactions of ASAE 20:683-687.
- 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.
- McCOOL, D.K., G.R. FOSTER, C.K. MUTCHLER y L.D. MEYER. 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of ASAE 32: 1571-1576.
- PÁEZ, M. L. 1989. Riesgos de erosión hídrica y alternativas de conservación en las tierras agrícolas del valle medio del río Yaracuy. Revista UCV, Facultad de Agronomía, 37:113-136.
- RENARD, K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. McCOOL, y D.C. YOSER. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: «A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)». USDA, Agricultural Research Service, Agricultural Handbook Number 703.
- SHT. 1999. Proyecto recuperación ambiental de áreas críticas en las microcuencas de Burbusay y Miquía,