

Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica

Marisela Pando Moreno*
Maritza Gutiérrez Gutiérrez*
Alfonso Maldonado Hernández**
José Luis Palacio Prieto***
A. Eduardo Estrada Castellón*

Recibido: 21 de febrero de 2003

Aceptado en versión final: 25 de junio de 2003

Resumen. Se estimó la erosión hídrica mediante un método directo y mediante la ecuación RUSLE, utilizando dos variantes (FAO e índice P/2), en una microcuenca en el noreste de México. La microcuenca, de 22.32 km², se estratificó en unidades geomorfológicas para el método directo y en unidades ambientales para los métodos indirectos; estas últimas fueron agrupadas al interior de las unidades geomorfológicas a fin de comparar los resultados obtenidos por uno y otro método. Los valores de erosión obtenidos por el método indirecto variante FAO, para la microcuenca en su conjunto, fueron estadísticamente iguales a los obtenidos por el método directo; a diferencia del método indirecto variante P/2, el cual resultó estadísticamente diferente de los otros dos, sobrestimando los valores de erosión. Sin embargo, al nivel de unidad geomorfológica, se observó que el método propuesto por FAO tiende a sobrestimar los valores reales en pendientes altas y a subestimarlos en pendientes bajas. Las diferencias más notorias se dan en las unidades donde se presentan cárcavas, las cuales no son consideradas en el método indirecto utilizado. Por tanto, se sugiere incorporar a la ecuación RUSLE un factor de ponderación para áreas con cárcavas.

Palabras clave: Erosión, suelo, RUSLE, microcuenca, México.

A comparison of methods in estimating soil water erosion

Abstract. A comparison between direct field measurements and predictions of soil water erosion using two variant; (FAO and R/2 index) of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) was carried out in a microcatchment of 22.32 km² in Northeastern Mexico. Direct field measurements were based on a geomorphologic classification of the area; while environmental units were defined for applying the equation. Environmental units were later grouped within geomorphologic units to compare results. For the basin as a whole, erosion rates from FAO index were statistically equal to those measured on the field, while values obtained from the R/2 index were statistically different from the rest and overestimated erosion. However, when comparing among geomorphologic units, erosion appeared overestimated in steep units and underestimated in more flat areas. The most remarkable differences on erosion rates, between the direct and FAO methods, were for those units where gullies have developed, in these cases, erosion was underestimated by FAO index. Hence, it is suggested that a weighted factor for presence of gullies should be developed and included in RUSLE equation.

Keywords: Erosión, soil, RUSLE, microcatchment, Mexico.

INTRODUCCIÓN

A medida que la población humana aumenta, las necesidades de esta se incrementan considerablemente, ejerciendo una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales. El suelo es uno de los componentes del medio que se ve fuertemente afectado cuando no se practica un manejo adecuado de los recursos naturales. Son muchas las

consecuencias de un mal manejo que repercuten directamente en el suelo; entre éstas destacan la erosión, compactación, salinidad, encostramiento, disminución de fertilidad, etc., todas estas pueden ser englobadas en una sola: la degradación del suelo.

En México, la erosión hídrica es la que más agobia a las tierras, debido a que el 65% del territorio nacional tiene pendientes mayores

*Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, AP 41, CP 67700, Linares, N. L. Tel. (821) 2124859, Fax: (821) 2124251. E-mail: mpando55@hotmail.com.

**Bufete de Asesorías, San Luis Potosí, SLP. E-mail: alfonsomaldonado@hotmail.com.

***Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D. F. E-mail: palacio@servidor.unam.mx

a 10%. Esta situación, aunada a una escasa cobertura vegetal al inicio de las lluvias, incrementa el riesgo de erosión hídrica en más del 70% del territorio, llegando a ser extrema en un 9% del país (CONAZA, 1994).

Se han realizado numerosos estudios para evaluar la erosión hídrica utilizando métodos directos (Barthes *et al.*, 2000, Fanning, 1994; Coronato y del Valle, 1993; Torres, 1987) e indirectos (Almaguer *et al.*, 1990; Curiel, 1990; Reyes *et al.*, 1990; Oropeza y Flores, 1990). Las cifras de erosión hídrica reportadas varían ampliamente dependiendo de las condiciones del área y del método empleado para estimarla. Por lo regular, se reportan valores más altos en las estimaciones por métodos indirectos, si bien la cobertura vegetal seguramente difirió en cada caso.

Por ejemplo, Torres (1987), utilizando un método directo, estimó valores de erosión de 13.5 t/ha/año para pendientes de 50% en la cuenca alta del río San Marcos, Tamaulipas; mientras que Sancholuz (1984), utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), reportó valores de erosión de 492 t/ha/año para áreas con pendiente del 25% en el estado de Veracruz, y Oropeza y Flores (1990), utilizando métodos indirectos, reportaron 568 t/ha/año para "zonas con pendientes pronunciadas donde se realizan actividades de agricultura y ganadería".

Sin embargo, Coronato y Del Valle (1993) obtuvieron valores de erosión mucho menores al estimar esta con la EUPS, que al hacerlo con métodos directos.

Reyes *et al.* (1990), utilizando la EUPS para caracterizar la erosión hídrica laminar y en arroyuelos, en Oaxaca, encontraron que los factores de longitud y grado de pendiente fueron los que más influyeron en las pérdidas de suelo en los periodos de tiempo estudiados.

Palacio (1990) determinó áreas de erosión

potencial en cárcavas, mediante un sistema de información geográfica, encontrando que alrededor del 50% de las cárcavas se localizan en pendientes entre 2 y 6% y el 67% se encuentra en pendientes entre 2 y 8%, también encontró que los luvisoles, agricultura y pastoreo están relacionados a este rango de pendientes.

El conocimiento de la tasa de erosión en un sitio es fundamental para decidir el manejo y las medidas de conservación de suelo más adecuadas; por ello, es importante obtener datos confiables acerca del proceso y la velocidad a la que se está perdiendo el suelo.

Los métodos directos para la evaluación de la erosión hídrica suelen proporcionar datos precisos, pero son laboriosos, requieren mucho tiempo y son costosos. Los métodos indirectos para evaluar la tasa de erosión son relativamente fáciles de aplicar, pero su precisión no ha sido ampliamente probada para los diferentes usos de suelo.

Este trabajo compara los resultados obtenidos por ambos métodos: directo e indirecto, para un área específica, y evalúa la precisión de este último; además, compara los resultados obtenidos por el método indirecto con dos variantes en la estimación del factor de erosividad de la precipitación (R).

AREA EN ESTUDIO

Este estudio se desarrolló en una microcuenca ubicada en el municipio de Hualahuises, Nuevo León, entre las coordenadas 24°53'57" N, 99° 52'34" O y 24° 57'00" N, 99° 47'21" O; a una altura de 520 msnm en la parte más baja y de 1 500 m en la parte más alta (Figura 1). Cuenta con una superficie total de 2 288.13 ha, de las cuales 55.95 (2.44%), corresponden a la presa "La Estrella" y las 2 232.18 ha restantes (97.56%) están conformadas por terrenos de distintos poblados.

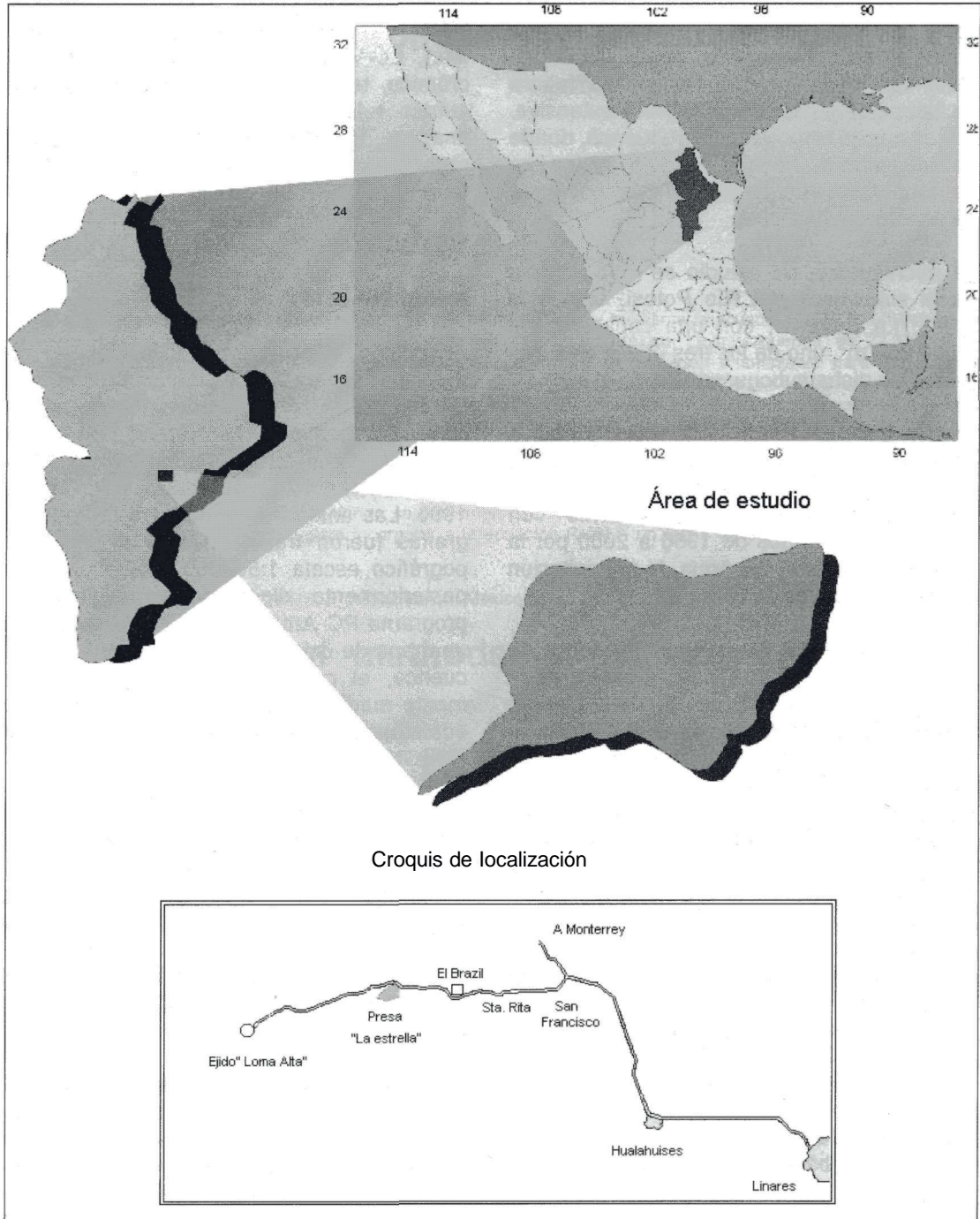


Figura 1. Ubicación del área de estudio..

La mayor parte de la microcuenca corresponde al ejido Loma Alta, donde las principales actividades productivas son agricultura de temporal y ganadería caprina extensiva. En las partes altas de la microcuenca, donde se encuentra el bosque de pino encino, se hace un aprovechamiento forestal por parte de algunos particulares.

La microcuenca de estudio se ubica dentro de la subcuenca del Río Potosí, siendo la presa "La Estrella", con una capacidad de 3 000 000 m³, uno de los tres principales embalses de dicha subcuenca (INEGI, 1986).

Según García (1988) la fórmula climática correspondiente a esta región es (A)C (x')(w")a(e), que define un clima semicálido subhúmedo extremoso. De acuerdo con los datos registrados de 1960 a 2000 por la Comisión Nacional de Agua, la precipitación promedio anual es de 871.2 mm.

El área en estudio comprende porciones de dos Provincias Fisiográficas: la mayor parte se ubica dentro de la Provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte, en la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos con topoformas de lomerío suave con bajadas y lomerío suave con llanuras. Una pequeña parte, al suroeste de la microcuenca, está ubicada dentro de la Provincia de la Sierra Madre Oriental, dentro de la Subprovincia de la Gran Sierra Plegada con topoformas de Sierra Compleja. En algunos de los lomeríos suaves de la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos se encuentran suelos poco desarrollados, los regosoles, que presentan con frecuencia riesgos de erosión (INEGI, 1986). Geológicamente, la Sierra Madre Oriental está constituida principalmente por rocas sedimentarias de la era Mesozoica que se depositaron y evolucionaron sobre un basamento Paleozoico (Garza, 1993).

Los tipos de suelo presentes en el área de estudio, según la carta edafológica escala 1:50 000 de INEGI (1977), son:

I+Re/3 (litosol + regosol eutrigo, textura fina), Lc+Vc/3 (luvisol crómico + vertisol crómico, textura fina), Re+I+Lc/3 (regosol eutrigo + litosol + luvisol crómico, textura fina) y Vp+Re+Lc/3 (vertisol pélico + regosol eutrigo + Luvisol crómico, textura fina).

METODOLOGÍA

Método directo

El diseño experimental utilizado fue un muestreo sistemático estratificado, con base en una clasificación geomorfológica; la cual se realizó mediante interpretación de las formas del relieve en fotografías aéreas (G14-11, L158, No. 14 y 15), escala 1:75 000, de 1996. Las unidades delimitadas en las fotografías fueron transferidas a un mapa topográfico escala 1:50 000 (INEGI, 2000) y posteriormente digitalizadas, utilizando el programa PC Arc/Info®. Con esto se generó un mapa de unidades de relieve de la microcuenca, al cual se sobrepusieron, nuevamente mediante su digitalización, las cartas edafológica y geológica, escala 1:50 000 (INEGI, 1977).

Las unidades de relieve fueron clasificadas siguiendo el criterio de Leontiev y Richagov (Lugo, 1989) donde "pendiente suave" corresponde a terrenos casi planos, con 2 a 5 grados; "pendiente tendida" se refiere a terrenos con 5 a 15 grados; "pendiente media" a terrenos con pendientes entre 15 y 35 grados y "pendiente abrupta" a terrenos con más de 35 grados de pendiente.

Una vez delimitadas las unidades geomorfológicas en el mapa, se colocó sobre él una malla reticular en la que las intersecciones marcaban puntos de muestreo, equidistantes a 500 m, obteniéndose en cada punto las coordenadas UTM para su localización en el terreno.

Para estimar la pérdida de suelo superficial,

se utilizó el método de los clavos con rondanas (Colegio de Postgraduados, 1991), que consiste en utilizar clavos de 30 centímetros de largo con rondanas holgadas que se colocan cuidadosamente a lo largo de un transecto a intervalos regulares, de manera que la rondana descansa sobre la superficie del suelo y la cabeza del clavo la toque ligeramente.

Se colocaron 44 clavos distribuidos de manera sistemática a través de todas las unidades geomorfológicas, excepto en aquellas áreas ocupadas por la actividad agrícola y en unidades geomorfológicas con superficies inferiores a 150 ha. Para las unidades muestreadas se determinó la densidad aparente, a fin de poder cuantificar las pérdidas de suelo en toneladas por unidad de superficie, durante dos temporadas de lluvia ocurridas en 1999. La densidad aparente se determinó por el método gravimétrico en muestra no alterada (Woerner, 1989).

Método indirecto

A diferencia del método directo, el cual se basó en la delimitación de unidades geomorfológicas, el método indirecto partió de la delimitación de unidades homogéneas en cuanto a tipo de suelo, pendiente, uso de suelo y vegetación, ya que éstas son las variables requeridas para aplicar las ecuaciones de estimación de pérdida de suelo que se utilizaron. La identificación y delimitación de los usos de suelo y vegetación se hizo utilizando las fotografías aéreas ya mencionadas; mientras que el mapa topográfico se utilizó para generar el mapa de pendientes.

La información correspondiente a cada variable (tipo de suelo, pendiente y vegetación) fue digitalizada empleando el programa Arc/Info® y se generaron los mapas mediante el programa Arc-View®. Estos mapas fueron cruzados a fin de obtener "unidades ambientales" homogéneas, en las cuales se estimó

la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal Revisada para la estimación de la Pérdida de Suelo (RUSLE). La fórmula utilizada (Lane *et al.*, 1992; citado por Pierson, 2000) se describe a continuación.

$$A = R K L S C P$$

Donde:

A = pérdida de suelo (t/ha),
R = índice de erosividad asociado a la lluvia,
K = factor de erodabilidad del suelo,
L = longitud de la pendiente,
S = porcentaje de pendiente,
C = cobertura y manejo,
P = prácticas de control de la erosión.

Para obtener el valor del factor "R", tal y como lo pide la fórmula original, se necesitaría contar con una estación climatológica en el área de estudio o muy cercana a ella, así como disponer de un registro de intensidades y tiempos de las lluvias por varios años o al menos de los eventos de lluvia del año para el que se hace el estudio.

Dado que, por lo regular, se carece de estos datos, el factor "R" se estimó por dos métodos diferentes y los resultados de cada método fueron comparados y discutidos. El primer método es el recomendado por FAO (1979), el cual utiliza el índice de Fournier:

$$R = \frac{\sum P^2}{P}$$

donde:

R = índice de Fournier,
P = precipitación promedio mensual,
P = precipitación promedio anual.

El otro método empleado fue aquel que describe a "R" como la mitad de la precipitación promedio anual en milímetros (Young, 1989).

El factor de erodabilidad del suelo "K", el factor topográfico "LS" y el factor de prácticas de control "P", fueron estimados de acuerdo con la ecuación original (Wischmeier y Smith, 1978).

Los valores del factor "C" para las áreas agrícolas se estimaron tomando en cuenta el rango de valores para maíz, sorgo y mijo, reportado por Roose (1977), que va de 0.4 - 0.9; donde se asigna el valor de 0.4 a la máxima fase de cobertura del cultivo y el valor de 0.9 a la fase de menor cobertura del cultivo, estimando así un valor de C = 0.65.

Los diferentes usos de suelo y vegetación se identificaron y delimitaron utilizando fotografías aéreas y se verificaron en campo utilizando el método de puntos de contacto modificado (Villalón *et al.*, 1991). Los valores de cobertura (C) relativos para los diferentes estratos, se obtuvieron a partir de los valores propuestos por el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos (Kenneth *et al.*, 1993) y se realizó una nueva estratificación basada en la igualdad de los valores de "C".

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DIRECTO E INDIRECTO

Los resultados de erosión hídrica obtenidos por los métodos indirectos, se compararon con los resultados obtenidos mediante el

método directo, y los primeros fueron también comparados entre sí.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Método directo

Con la estratificación realizada en la microcuenca de estudio, resultaron siete unidades geomorfológicas, además de la presa "La Estrella" (Cuadro 1), siendo el relieve con pendiente suave el predominante en la microcuenca, el cual cubre un 54% del área, seguida de la pendiente tendida con un 25.5% y la pendiente media con un 17.2%, correspondiendo el 3.3% restante a la presa "La Estrella".

La pérdida de suelo promediada para la superficie evaluada fue de 38.6 t/ha, en el periodo de un año. Esta cifra contrasta fuertemente con los valores reportados para regiones montañosas con cobertura vegetal "normal", que van de 1 a 5 t/ha/año (Pimentel y Kounang, 1998), por lo que se deduce que la microcuenca de captación de la presa "La Estrella" se encuentra bajo un proceso acelerado de erosión. Sin embargo, si se compara con lo reportado para otras áreas, principalmente cuando los valores han sido obtenidos por métodos indirectos, los valores de erosión aquí obtenidos podrían parecer moderados.

Cuadro 1. Superficie ocupada por cada unidad geomorfológica de la microcuenca

Clave	Descripción	Área (ha)	%
SULULUT	Pendiente suave, luvisol, lutita	620.65	27.12
TELILUT	Pendiente tendida, litosol, lutita	570.81	24.95
MELILUT	Pendiente media, litosol, lutita	398.76	17.42
SURELUT	Pendiente suave, regosol, lutita	284.27	12.42
SULILUT	Pendiente suave, litosol, (lutita)	209.62	9.16
SUVELUT	Pendiente suave, vertisol, lutita	133.73	5.84
TELULUT	Pendiente tendida, luvisol, lutita	14.33	0.63
PRESA	Presa "La Estrella"	55.95	4.45
<i>Total</i>		2 288.13	100

Por ejemplo, Sancholuz (1984) reporta valores de erosión de hasta 492 t/ha/año utilizando la Ecuación Universal de pérdida de suelo en su área de estudio.

Si bien es cierto que la pendiente tiene un fuerte peso en la magnitud de la erosión que se presenta, en el caso de la microcuenca que se estudió, la cobertura vegetal y el impacto antropogénico que se da en el área parecen ser los factores que están determinando, en mayor medida, la magnitud de la erosión.

Por lo menos así lo sugieren los datos obtenidos, donde la unidad geomorfológica

(SURELUT) que presentó los valores más altos de pérdida de suelo (99.8 t/ha/año) corresponde a una pendiente suave (2-5°), pero con muy escasa cobertura vegetal (<30%; Figura 2); lo cual concuerda con lo reportado por Trimble y Mendel (1995), quienes estimaron que si la cobertura del suelo decrece de 100 a 1%, los valores de erosión se incrementan en aproximadamente 200 veces.

La unidad geomorfológica con mayor pendiente (MELILUT; entre 15 y 35% de pendiente) registró el valor más bajo (22.3 t/ha/año) de erosión, siendo la más distante del poblado y con mayor cobertura vegetal.

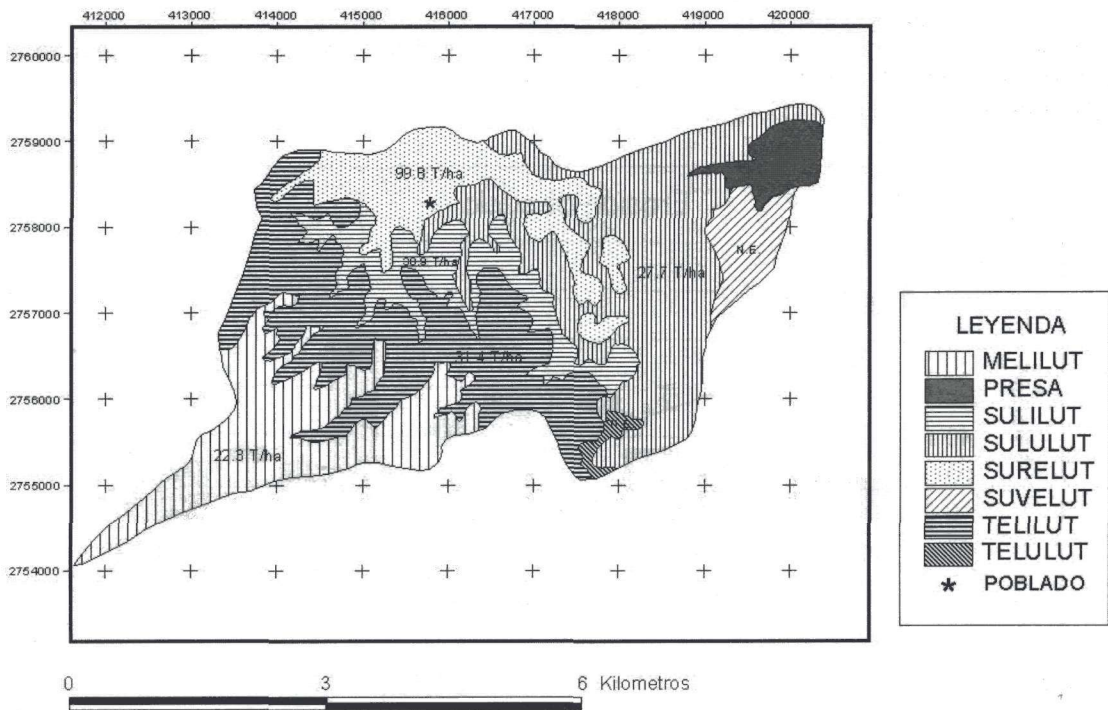


Figura 2. Unidades geomorfológicas en la microcuenca y pérdida de suelo promedio (T/ha) por unidad.

Método indirecto

Los mapas de tipo de suelo, pendientes y uso de suelo y vegetación, se superpusieron para elaborar el mapa de Unidades Ambientales. Las Unidades Ambientales (UA) resultantes de la estratificación en el área de estudio fueron 33, incluyendo la presa "La Estrella" (Cuadro 2), siendo la Unidad de luvisol con agricultura y pendiente del 2% (Clave Luagri2), la que ocupa la mayor extensión (447.09 ha).

Utilizando el índice de Fournier (FAO, 1979), se estimó un valor para "R" de 110.26; mientras que, mediante el índice de P/2, se obtuvo un valor de 435.6 para el factor "R".

La UA que presentó mayor erosión por unidad de superficie es Lides 11, debido principalmente a que dicha UA tiene un valor de $C=1$ el cual corresponde a un suelo desprovisto de vegetación. Si bien la tasa de erosión en esta UA también se ve afectada por la pendiente del área (11%), es de notar

que otras unidades con igual o mayor pendiente, mostraron tasas de erosión menores (Cuadro 3).

Ambas variantes del método indirecto coinciden en señalar a las mismas UA con la mayor tasa de erosión; sin embargo, los valores estimados con el índice de P/2 son aproximadamente cuatro veces el valor estimado por el índice de Fournier (Cuadro 2).

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DIRECTO E INDIRECTO

A fin de comparar los valores de erosión estimados por los métodos directo e indirecto, fue necesario agrupar los polígonos de las UA dentro de las unidades geomorfológicas delimitadas en el método directo.

Se estimó la erosión total para cada unidad, así como la pérdida de suelo por unidad de superficie; los resultados se muestran en la gráfica de la Figura 3.

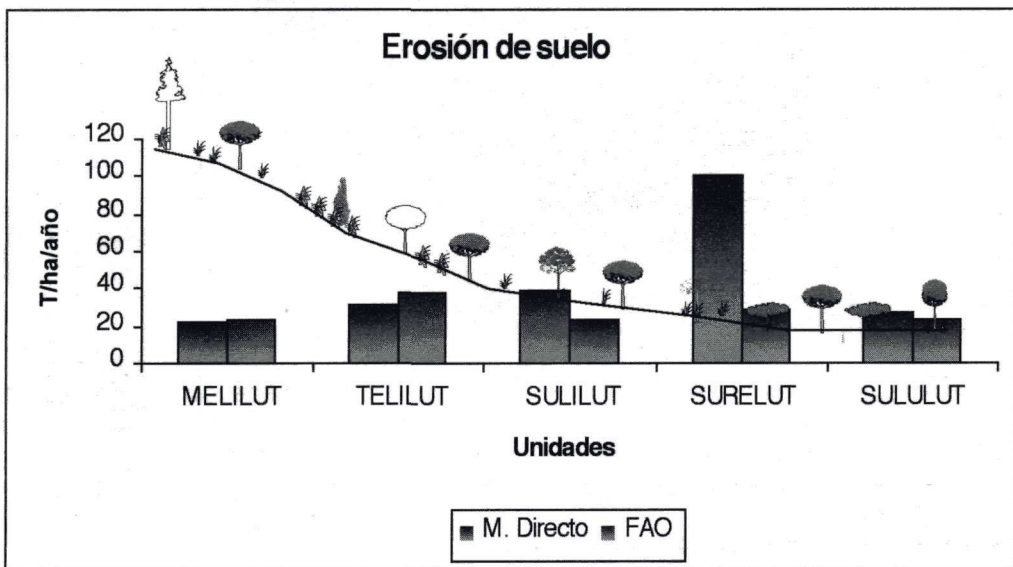


Figura 3. Tasas de erosión de suelo estimadas para cada Unidad Geomorfológica, en comparación con las tasas reales de erosión para 1999. Se incluye un perfil esquematizado mostrando la ubicación de las unidades geomorfológicas con respecto a la pendiente de la microcuenca.

Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica

Cuadro 2. Superficie ocupada por cada una de las Unidades Ambientales en la microcuenca

Clave	Descripción	Área (ha)	%
Luagri2	Luvisol, agricultura, pendiente 2%	447.09	19.54
Lien19	Litosol, B. de encino, pendiente 19%	214.06	9.36
Lien11	Litosol, B. de encino, pendiente 11%	197,69	8.64
Lltran11	Litosol, transición, pendiente 11%	159.25	6.96
Lumat2	Luvisol, matorral, pendiente 2%	157.27	6.87
Veagri2	Vertisol, agricultura, pendiente 2%	98,33	4.30
Remat2	Regosol, matorral, pendiente 2%	97.48	4.26
Redes2	Regosol, suelo desnudo, pendiente 2%	96.02	4.20
Limat2	Litosol, matorral, pendiente 2%	78.08	3.41
Reagri2	Regosol, agricultura, pendiente 2%	76.80	3.36
Limat11	Litosol, matorral, pendiente 11%	76.54	3.35
Lides2	Litosol, suelo desnudo, pendiente 2%	74.20	3.24
Lipien22	Litosol, B. de encino-pino, pendiente 22%	66.59	2.91
Litran4	Litosol, transición, pendiente 4%	56.26	2.46
Litran2	Litosol, transición, pendiente 2%	39.94	1,75
Ludes2	Luvisol, suelo desnudo, pendiente 2%	39.89	1.74
Limat4	Litosol, matorral, pendiente 4%	36.03	1.57
Lipien14	Litosol, B. de pino-encino, pendiente 14%	31.73	1.39
Lipien19	Litosol, B. de pino-encino, pendiente 19%	30.87	135
Lipien 10	Litosol, B. de pino-encino, pendiente 10%	27.98	1,22
Lien22	Litosol, B. de encino, pendiente 22%	23.46	1.03
Liagri2	Litosol, agricultura, pendiente 2%	22.02	0.96
Remat4	Regosol, matorral, pendiente 4%	15.52	0.68
Luagri11	Luvisol, agricultura, pendiente 11%	15.11	0.66
Líagri11	Litosol, agricultura, pendiente 11%	14.17	0.62
Lides4	Litosol, suelo desnudo, pendiente 4%	10.77	0.47
Vemat2	Vertisol, matorral, pendiente 2%	10.51	0.46
Redes4	Regosol, suelo desnudo, pendiente 4%	5.76	0.25
Lumat11	Luvisol, matorral, pendiente 11%	4.00	0.17
Lutran2	Luvisol, transición, pendiente 2%	4.00	0.17
Lides11	Litosol, suelo desnudo, pendiente 11%	3.72	0.16
Liagri4	Litosol, agricultura, pendiente 4%	1.02	0.04
Presa	Presa "La Estrella"	55.95	4.45
<i>Total</i>		2 288.13	100

Cuadro 3. Pérdida de suelo estimada para cada Unidad Ambiental, utilizando las dos variantes del método indirecto

Unidad ambiental		FAO		P/2	
Clave	Área (ha)	T/ha/año	Toneladas	T/ha/año	Toneladas
Luagri2	447.09	30.19	13 496.26	119.26	53 319.16
Lumat2	157.27	4.11	646.39	16.24	2 553.67
Remat2	97.48	4.41	430.33	17.44	1 700.08
Reagri2	76.80	3242	2 490.24	128.09	9 838.10
Redes2	96.02	49.88	4 789.64	197.07	18 922.26
Remat4	15.52	6.90	107.19	27.28	423.49
Limat4	36.03	7.02	253.10	27.75	99.91
Veagri2	98.33	27.95	2 748.45	110.42	10 858.18
Vemat2	10.51	3.81	39.99	15.03	157.99
Redes4	5.76	78.02	449.72	308.23	1 776.68
Ludes2	39.89	46.44	1 852.42	183.47	7 318.27
Lides4	10.77	79.37	854.99	313.54	3 377.76
Liagri4	1.02	51.59	52.72	203.80	208.27
Lides2	74.20	50.74	3 765.14	200.46	14 874.81
Litran4	56.26	5.40	303.63	21.32	1 199.53
Litran2	39.94	3.45	137.80	13.63	544.39
Limat2	78.08	4.49	350.65	17.74	1 385.29
Liagri2	22.02	32.98	726.13	130.30	2 868.68
Litra11	159.25	38.44	6 121.60	151.87	24 184.38
Lides11	3.72	565.31	2 103.29	2 233.36	8 309.40
Limati 1	74.54	50.03	3 829.49	197.65	15 129.03
Uen11	197.69	9.61	1 899.83	37.97	7 505.57
Lutran2	4.00	3.16	12.64	12.48	49.92
Lien19	214.06	17.69	3 787.66	69.91	14 963.78
Lipien22	66.59	41.94	2 792.34	165.68	11 031.58
Lumati 1	4.00	45.79	183.23	180.90	723.89
Luagri11	15.11	336.31	5 082.13	1 328.66	20 077.79
Liagri11	14.17	367.45	5 208.52	1 451.69	20 577.10
Lipien19	30.87	35.39	1 092.50	139.81	4 316.12
Lien22	23.46	20.97	491.96	82.84	1 943.57
Lipien14	31.73	25.08	795.96	99.09	3 144.57
Lipien10	27.98	17.34	485.13	68.51	1 916.57
<i>Total</i>	<i>2 232.18</i>	<i>30.19</i>	<i>67 381.05</i>	<i>119.26</i>	<i>266 199.77</i>

La unidad geomorfológica que presentó la mayor tasa de erosión, utilizando el método directo, fue SURELUT (100 t/ha/año); mientras que las dos variantes del método indirecto estimaron la mayor tasa de erosión para la unidad TELILUT (38 y 149 t/ha/año). Las tasas de erosión más bajas fueron: por la estimación directa MELILUT (22 t/ha/año) y por la estimación indirecta SULILUT (23 y 92 t/ha/año) y SULULUT (23 y 92 t/ha/año).

Al comparar los valores estimados por el método indirecto, variante índice P/2, con los valores obtenidos por el método directo, se puede decir que utilizando esa variante, se sobreestimaron los valores reales de erosión para todas las unidades geomorfológicas de la microcuenca (Figura 3).

Lo anterior concuerda con lo reportado por Figueroa (1975) quien al estimar la pérdida de suelo para una cuenca, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, obtuvo valores mayores a la pérdida de suelo real para dicha cuenca.

Al estimar la erosión, utilizando la variante de FAO, se observó una tendencia a sobreestimar ésta en las pendientes altas y subestimarla en pendientes bajas (Figura 4); esto pudiera deberse a que el método indirecto utilizado da mucho peso al factor LS, lo que coincidiría con la conclusión de Reyes *et al.* (1990) quienes al aplicar la USLE, encontraron que el factor LS fue el que más influyó en la estimación de la pérdida de suelo,

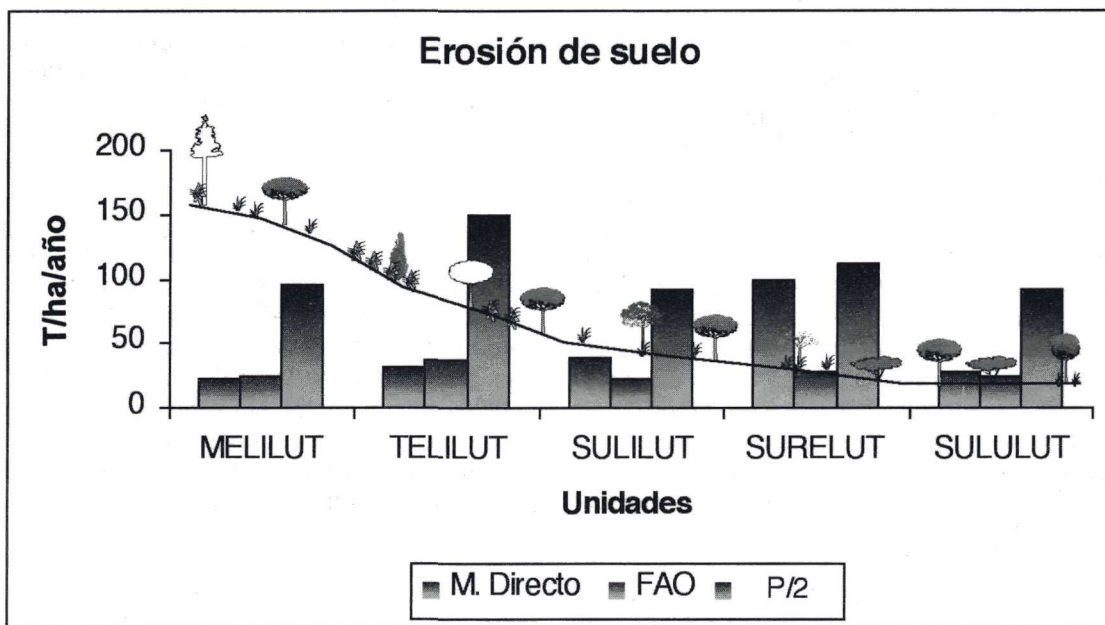


Figura 4. Comparación de tasas de erosión reportadas por el método directo y estimadas por el método indirecto, variante índice de Fournier.

Las diferencias más notorias entre las tasas de erosión estimadas por el método de FAO y las obtenidas por el método directo se dan en las unidades geomorfológicas SURELUT y SULILUT, en las cuales el método indirecto subestima en mayor medida las tasas reales de erosión, debido a que dichas unidades geomorfológicas cuentan con áreas desprovistas de vegetación en las cuales se han desarrollado cárcavas de tamaño considerable, haciendo que el arrastre de suelo se dé a una mayor velocidad. La subestimación ocurre por que la presencia de cárcavas es un factor que no se considera en los métodos indirectos desarrollados a la fecha.

A una conclusión similar llegaron Coronato y Del Valle (1993), quienes al aplicar un método indirecto (USLE) en su área de estudio, estimaron valores de erosión de 3.1 t/ha/año, los cuales estuvieron muy por debajo de los valores reales de 7.1 a 8 t/ha/año, estimados mediante dos métodos directos. Estos autores, al igual que Osborn *et al.* (1976), concluyen que la diferencia entre las estimaciones hechas por ambos métodos (directo e indirecto) es causada por la presencia de cárcavas en el área en estudio.

Las dos unidades que presentaron mayores tasas de erosión mediante el método directo se localizan en pendientes suaves; estas áreas se encuentran cerca del núcleo poblacional, por lo que reciben una mayor presión por parte de las actividades humanas. La presencia de cárcavas en estas áreas concuerda con lo reportado por Palacio y Vázquez (1990), al obtener en su estudio que alrededor del 67% de las cárcavas se encuentra en pendientes entre 2 y 8%.

Dichos autores encontraron también que el 90% de las cárcavas están asociadas a actividades humanas como agricultura (de riego y de temporal) y pastoreo.

La tasa de erosión resultante al aplicar el método indirecto variante índice P/2 (11 t/ha/año) es aproximadamente tres veces la tasa de erosión obtenida por el método directo (39 t/ha/año). Por otro lado, al comparar la tasa de erosión total para la microcuenca mediante el método de Fao (28 t/ha/año) y el método directo (38.6 t/ha/año), se observa una subestimación de los valores reales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La erosión total estimada para la microcuenca, mediante el método directo, fue de 38.6 t/ha en un año, equivalente a un arrastre de 80 607 toneladas de suelo, concluyendo que el área en estudio se encuentra bajo un proceso acelerado de erosión hídrica.

Al comparar los resultados obtenidos por ambos métodos, se concluye que el método indirecto, variante índice de Fournier, se aproximó más a los valores reales obtenidos por el método directo, que cuando se utilizó la variante P/2. El método indirecto, variante índice P/2, sobrestimó los valores reales de erosión de suelo para 1999, en todas las unidades geomorfológicas.

El método indirecto variante índice de Fournier (propuesto por FAO, 1979), tendió a sobreestimar los valores de erosión en las unidades geomorfológicas con pendientes medias y tendidas, contrario a la tendencia que presentó para las UG con pendientes suaves en las cuales subestimó los valores reales de erosión hídrica. La variante de Fournier subestimó el valor de erosión real, para la microcuenca en su conjunto.

La marcada disparidad en los valores de erosión estimados mediante el método indirecto propuesto por FAO, comparados con los valores reales para las UG SURELUT y SULILUT, se debe a la presencia de cárcavas en dichas unidades.

El método propuesto por FAO parece ser bastante preciso, siempre y cuando no existan cárcavas en el área que se evalúa. Al respecto, se sugiere realizar más investigaciones en áreas que presenten cárcavas, para determinar la inclusión de un factor relacionado con la presencia de éstas, o bien un factor de ponderación de la variable "K".

AGRADECIMIENTOS

Al programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICyT) por el financiamiento recibido para la realización parcial de esta investigación (proyecto CT631-01). Alfonso Maldonado agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico de una Beca-Crédito para realizar estudios de posgrado en la Universidad Autónoma de Nuevo León.

REFERENCIAS

- Almaguer, S., D. Plácido, E. Cardona, M. Hinojosa y B. Figueroa (1990), "Evaluación del riesgo de erosión en Tamaulipas", *Memorias del 1er. Simposio Regional Avances y Perspectivas de la Investigación de Recursos Abióticos del Noreste de México*, UAT, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, pp. 77-97.
- Barthés B., A. Azontonde, B. Z. Bou, C. Prat y E. Roose (2000), "Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, México)", *European Journal of Soil Science*, vol. 51, no. 3, pp. 485-495.
- Colegio de Postgraduados (1991), *Manual de conservación del suelo y del agua*, UACH, Chapingo, México.
- CONAZA (1994), Plan de acción para combatir la desertificación en México, CONAZA, Saltillo, Coahuila, México.
- Coronato, F. y H. del Valle (1993), "Methodological comparison in the estimate of fluvial erosion in arid closed basin of northeastern Patagonia", *Journal of Arid Environments*, vol. 24, pp 231-239.
- Curiel, B. (1990), "Investigación sobre degradación de suelos en el estado de Jalisco", en *Memorias del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo*, Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, México, pp. 7-12.
- Diccionario Geomorfológico* (1989), Instituto de Geografía, UNAM., México.
- Fanning, P. (1994), "Long-term contemporary erosion rates in an arid rangelands environment in western New South Wales, Australia", *Journal of Arid Environments*, vol. 28:173-187.
- FAO (1979), A provisional methodology for soil degradation assessment, Roma, Italia.
- Figueroa, S. B. (1975), Pérdidas de suelos y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco, tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- García, E. (1988), Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Garza, J. (1993), Mapeo geológico en el área Zurísima de Conchos, Linares, N. L. y análisis de los ríos Pabillo, Potosí, Anegado y Conchos en la misma área, tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares, N. L.
- INEGI (1977), *Carta edafológica Huaiahuis G14C57*, escala 1:50 000, 1ª. ed., México.
- INEGI (1986), *Síntesis geográfica del estado de Nuevo León*, México.
- INEGI (1994), *Linares estado de Nuevo León, Cuaderno estadístico municipal*, Aguascalientes, México
- INEGI (2000), *Carta topográfica Huaiahuis G14C57*, escala 1:50 000, 2ª. ed., Aguascalientes, México.
- Kenneth, N., P. Folliott, H. Gregersen y J. Thames (1993), *Hydrology and the Management of Watershed*, Iowa State University Press; Iowa, USA.

- 📖 Oropeza, R. y D. Flores (1990), "Dinámica de la hidroerosión en una cuenca del estado de Guerrero, México", en *Memorias del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo*, Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, México, pp. 73-74.
- 📖 Osborn, H., J. Simanton y K. Renard (1976), "Use of the USLE in the semiarid Southwest", en *Soil Erosión; prediction and control*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, USA, 21:41-49.
- 📖 Palacio, J. L. (1990), "Determinación de áreas de erosión potencial en cárcavas: un ejemplo en el centro de México", *Boletín*, núm. 21, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 44-55.
- 📖 Palacio, J. L. y L. Vázquez (1990), "Definición de áreas de riesgo de erosión en cárcavas utilizando un sistema de información geográfica", en *Memorias del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo*, Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, México, pp- 75-76.
- 📖 Pierson, F. (2000), "Erosión models: use and misuse on rangelands", en *Rangelands desertification*, Editorial Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA., USA, pp. 67-76.
- 📖 Pimientel D. y N. Kounang (1998), "Ecology of soil erosion in ecosystems", en *Ecosystems*, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, New York, 1:416-426.
- 📖 Reyes, J., H. Volke, S. Figueroa, Ch. Estrella y H. Vaquera (1990), "Caracterización de la erosión hídrica laminar y en arroyuelos caso: Paraje Zaayucuanino de Wochixtlan, Oaxaca", en *Memorias del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo*, Instituto de Geología, Departamento de Edafología, UNAM, México, pp. 79-80.
- 📖 Roose, E. (1977), "Use of the Universal Soil Loss Equation to predict erosion in West Africa", en *Soil erosion: prediction and control*, *Proceedings of the National Conference on Soil Erosión*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, pp. 143-151.
- 📖 Sancholuz, L. A. (1984), *Land degradation in Mexican maize fields*, tesis Doctoral, The University of British Columbia, Vancouver, Canadá.
- 📖 Trimble, S. W. y A. C. Mendel (1995), "The cow as a geomorphic agent: a critical review", *Geomorphology*, 13:233-253.
- 📖 Torres, J. J. (1987) *Ecología y uso de los recursos naturales renovables de la cuenca del río San Marcos, Tamaulipas, México*, tesis, de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- 📖 Villalón, M., P. Carrillo y M. Soto (1991), "Comparación de dos longitudes de líneas de muestreo para estimar cobertura en el matorral tamaulipeco mediante el método de puntos modificado", *Reporte Científico* No. 23, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N. L., México.
- 📖 Wischmeier, W. y D. Smith (1978), "Predicting rainfall erosion losses", *Agricultural Handbook* 537, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, D. C.
- 📖 Woerner, M. (1989), *Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semáridas*, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N. L., México.
- 📖 Young, A. (1989), "Trends in soil-conservation research and policy", *Agroforestry for soil conservation*, C A B International, Reino Unido.