Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo "USLE" en SIG para estimar riesgo potencial de erosión en el área protegida "Sierra de Quila"

CUCBA – Universidad de Guadalajara
XVII Semana de la Investigación Científica
27 de noviembre al 01 de diciembre de 2006

Jan Röder[1], Estudiante de Ciencias Forestales - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Alemania
Dr. Raymundo Villavicencio García[2], Departamento de Producción Forestal - CUCBA
M.C. Patricia Zarazúa Villaseñor[3], Departamento de Producción Sustentable - CUCBA

Introducción

La erosión hídrica (causada por lluvia) es el factor de más impacto seguido de un cambio de uso de suelo o una degradación de un ecosistema, sobre todo en aquellas zonas que tienen una temporada de lluvia fuerte donde se concentra la mayor parte de la precipitación anual. Existen varios factores que influyen en la disposición de un terreno al ser erosionado hídricamente, entre estos se encuentran: El tipo de suelo, la cobertura vegetal, la forma del terreno y la tasa de precipitación. La "Ecuación Universal de Pérdida de Suelo" (USLE en su sigla inglés) permite estimar la pérdida anual de suelo tomando en cuenta los factores mencionados. Por ser una fórmula en donde solo se multiplican valores obtenidos por cada factor, es factible su cálculo mediante el uso de cartas temáticas con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta metodología permite estimar la pérdida de suelo potencial por cada punto en un terreno, de tal manera que permite identificar las zonas de mayor peligro y que necesiten una forma de protección. Además la fórmula también incluye un factor que considera la aplicación de prácticas de protección, por lo que es posible evaluar su eficacia contra la erosión de forma virtual implementándolas en el SIG. Los resultados obtenidos de la aplicación de la ecuación USLE proporciona información relevante útil en la toma de decisiones para la planificación de la conservación del suelo.

Objetivos

1. Elaborar un mapa de riesgo potencial de erosión usando técnicas de SIG.
2. Estimar cuantitativamente e identificar zonas de alto riesgo que requieran en alguna medida implementar obras de protección contra la erosión hídrica y conservación del suelo.

Materiales

El trabajo se desarrolló en el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) "Sierra de Quila". Los rangos de altitud son de 1350m hasta 2560m y abarca una extensión aprox. a 15000ha (SARH, 1993), en los municipios de Tecolotlán, Tenamaxtlán y San Martín de Hidalgo en el Estado de Jalisco. El clima varía de templado húmedo con lluvias en verano a caliente húmedo con largo período seco (García, 1988). La precipitación pluvial anual es de 900mm. La vegetación la componen los bosques de pino-encino, de encino, mesófilo de montaña, espinoso y de galería, así como la selva baja caducifolia (Guerrero y López, 1997). El APFF posee los subtipos de suelo: *Cambisol eutrico*, *Cambisol húmico*, *Feozem háplico*, *Feozem lúvico*, *Litosol*, *Luvisol crómico*, *Regosol eutrico* y *Vertisol pélico* (INEGI, 1972). Para obtener el mapa de riesgo fue necesario elaborar a partir de curvas de nivel (datos vectoriales) de cartas topográficas en escala 1:50000, un modelo de elevación del terreno (MET) con el módulo TIN (Triangulated Irregular Network) del programa ArcView®. A partir del MET y en formato raster (Grid) con resolución a 28m se generaron cartas temáticas sobre exposición y pendiente. La resolución geométrica definida para el MET respondió a homogenizar toda la información al tamaño de píxel de la carta de coberturas vegetales. Todas las cartas temáticas se trabajaron en formato raster.

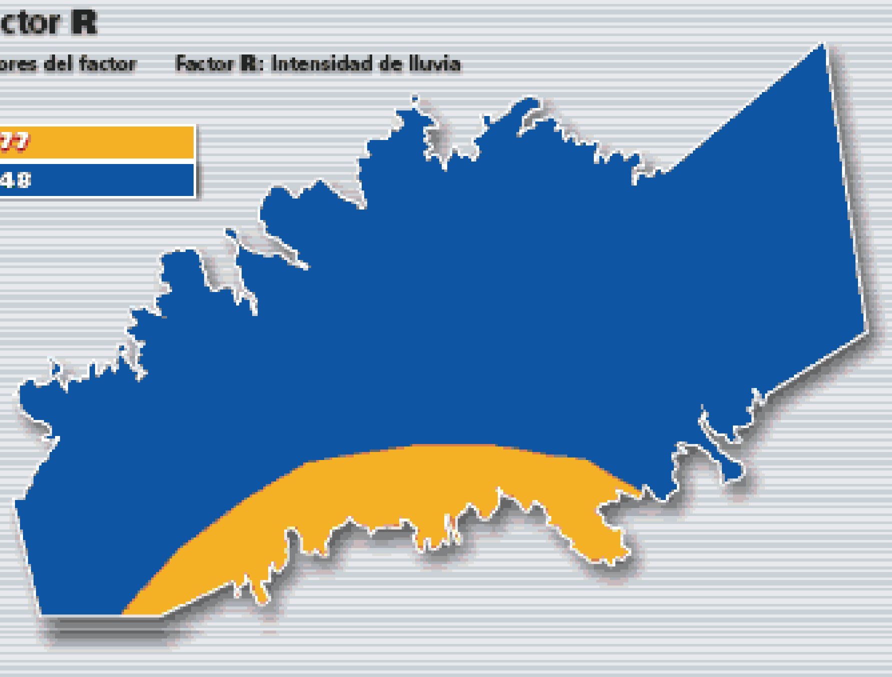
Método

Factores de la ecuación **USLE**

Factor R

Valores del factor — **Factor R: Intensidad de lluvia**

3977	
4448	



Factor R — Expresa el efecto de erosividad por lluvia en un área (Wischmeier, 1978). Los valores de la precipitación media anual se adquirieron de los registros de estaciones climáticas más cercanas a la Sierra de Quila (Tecolotlán y Ameca) para calcular los valores de R se utilizó la fórmula siguiente (Cortés, 1991):

$$Y = 0{,}03338\,X + 0{,}006661\,X^2$$

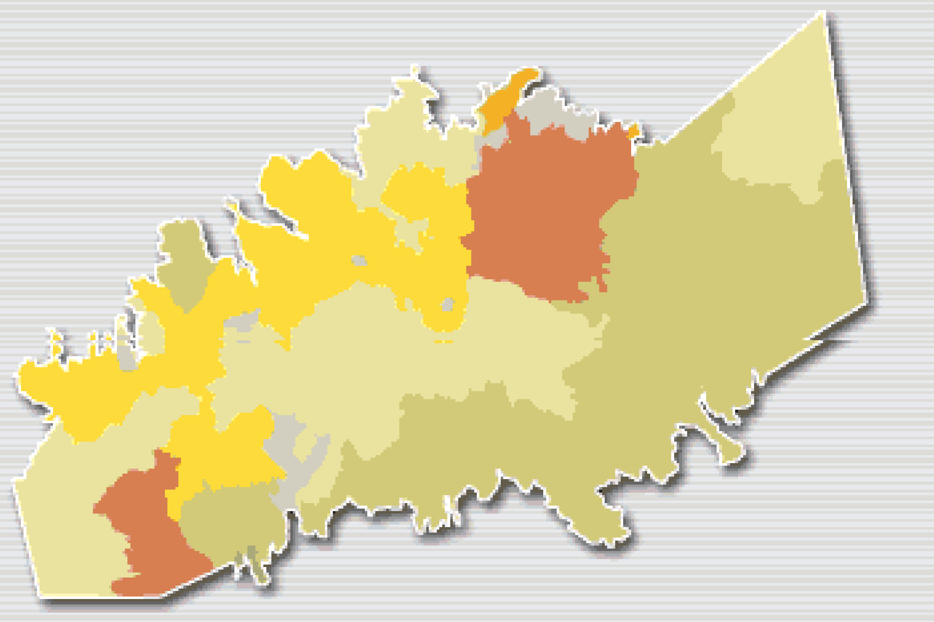
donde:
$Y = EI30$ = Erosividad de la lluvia en MJ mm/ha/a = R
X = La precipitación anual promedio

La carta de precipitación se generó siguiendo un perfil ortográfico que divide la Sierra de la meseta ubicada en su parte centro-norte y la vertiente sur la cual actúa como una barrera climática.

Tipo de suelo — Factor K

Valores del factor — **K: Erosividad del suelo**

Tipo de suelo	K	Tipo de suelo	K
Cambisol eutrico	0.040	Litosol	0.020
Cambisol húmico	0.007	Luvisol crómico	0.013
Feozem háplico	0.020	Regosol eutrico	0.040
Feozem lúvico	0.020	Vertisol pélico	0.026

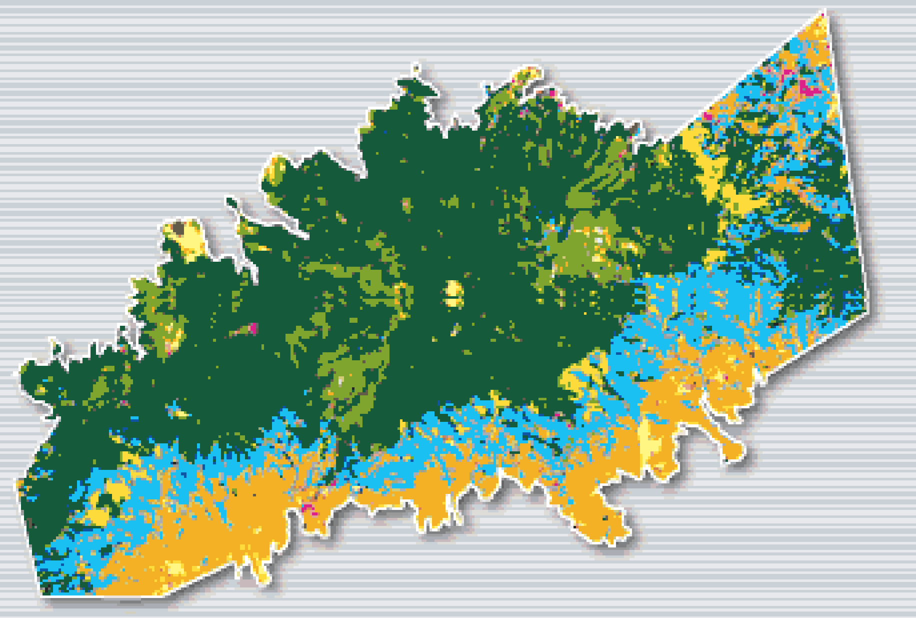


Factor K — El factor de la erosividad del suelo expresa la vulnerabilidad por erosión hídrica de un determinado tipo de suelo en función de sus propiedades. Las características que tienen un impacto importante a la disposición erosiva de un suelo son: Porcentaje de limo, arena muy fina, arena y materia orgánica, así como su clase de agregación y de permeabilidad (Wischmeier, 1978). Los valores de K por tipo de suelo se obtuvieron de la FAO (1980). A la carta de tipos de suelo le fue incorporada información sobre textura y grado de permeabilidad.

Tipo de cobertura — Factor C

Valores del Factor — **C: Cobertura vegetal**

Tipo de cobertura	C	Tipo de cobertura	C
Bosque de pino-encino	0.001	Regeneración	0.080
Bosque de encino-pino	0.001	Agricultura	0.700
Bosque de encino	0.001	Pastizal	0.030
Bosque abierto de pino-encino	0.150	Áreas sin vegetación aparente	1.000
Selva baja caducifolia	0.010	Sombras	1.000



Factor C — El factor de cobertura vegetal indica la aptitud que ésta tiene para proteger al suelo contra el efecto erosivo de la lluvia. Los índices de protección por los distintos tipos de cobertura/cultivo se determinaron según la metodología de Wischmeier (1978), asignándole a cada cobertura su valor correspondiente. La carta de vegetación se obtuvo de una imagen satelital tipo Landsat ETM 7 clasificada (Villavicencio, 2004).

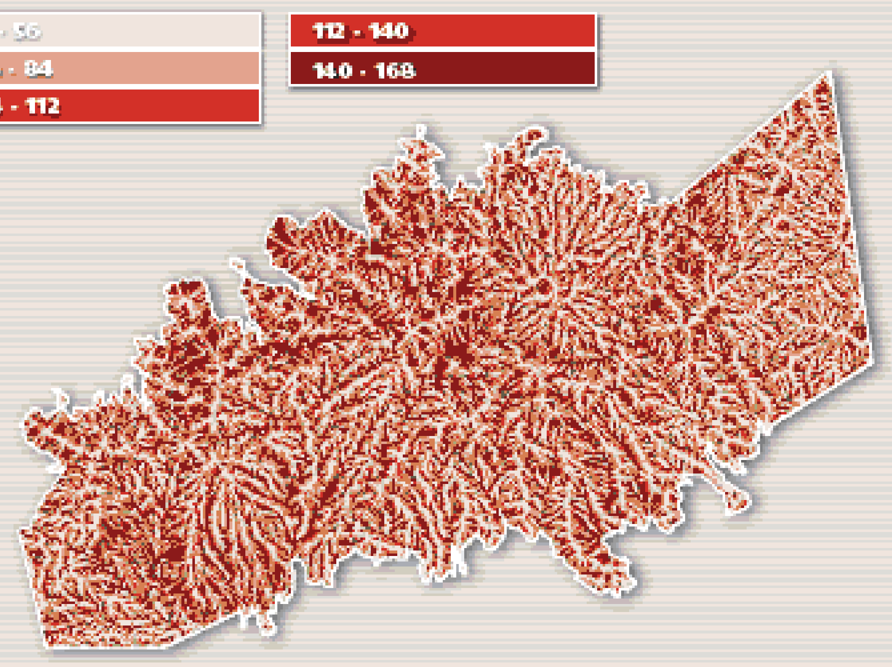
Factor P

El factor cuantifica el impacto de las prácticas de protección contra la erosión hídrica. Dado que no se consideran obras de protección dentro del APFF, el valor para este factor es de 1.

Factor L

Longitud de la pendiente (m)

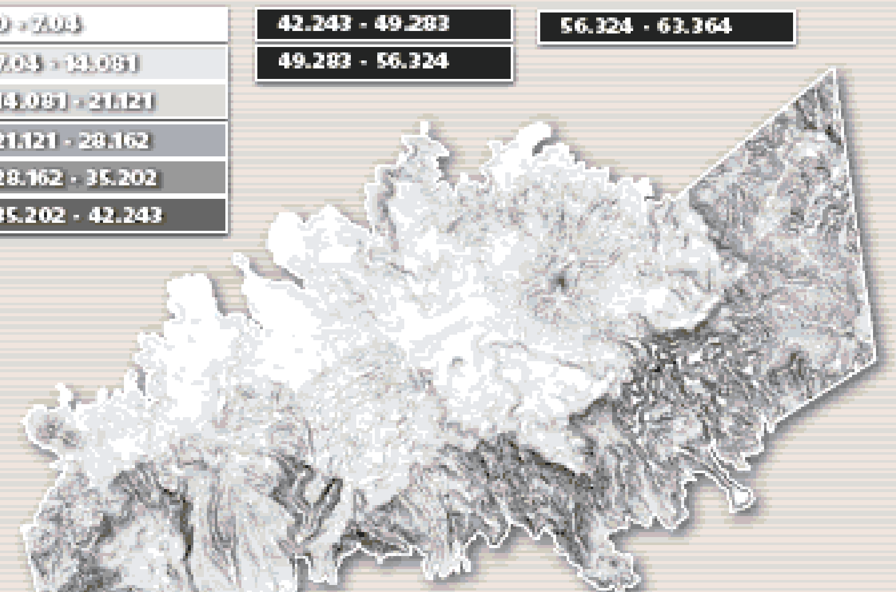
0 - 56	112 - 140
56 - 84	140 - 168
84 - 112	



Factor S

Grado de pendiente

0 - 7.04	42.243 - 49.283	56.324 - 63.364
7.04 - 14.081	49.283 - 56.324	
14.081 - 21.121		
21.121 - 28.162		
28.162 - 35.202		
35.202 - 42.243		



Factor LS

Estos dos factores estiman el impacto de la topografía sobre el riesgo de erosión por asociar la longitud e inclinación de la pendiente. En sistemas montañosos se dificulta el cálculo de la longitud de la ladera, donde en muchas ocasiones es imposible distinguir el transecto de la pendiente. Para determinar este parámetro se aplicó la metodología de Engel (2003), utilizando la función "Flow accumulation" de la extensión "Hydro-Tools" (Factor L). Para no sobreestimar el impacto de la longitud de la pendiente se determinó una longitud límite de acumulación de 6 píxeles, equivalentes a una longitud máxima de pendiente de 168m; longitudes de 112 y 308m (4 y 11 píxeles) fueron comparadas. El factor S se obtuvo derivado del MET, mediante una carta de pendientes (Slope) en grados (Factor S).

Aplicación de la ecuación **USLE**

Utilizando la función de álgebra de mapas "Map calculator" del programa ArcView® se multiplicó cada factor:

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

Resultados

La siguiente tabla muestra los siete registros de pérdida potencial del suelo, donde concluye que el 82.7% del área no tiene pérdidas, el 10.8% presenta un nivel de degradación moderado, resaltando que una gran superficie que concentra este porcentaje se encuentra cubierta por selva baja caducifolia en laderas pronunciadas. Las superficies que se encuentran con alto nivel de degradación se sitúan en aquellas áreas que carecen o son ligeramente cubiertas por una capa protectora de vegetación; en este caso el bosque abierto de pino-encino proporciona una protección insuficiente al suelo, ya que es sobre esta cobertura principalmente donde se tienen pérdidas que acumulan el 3.4% de la superficie.

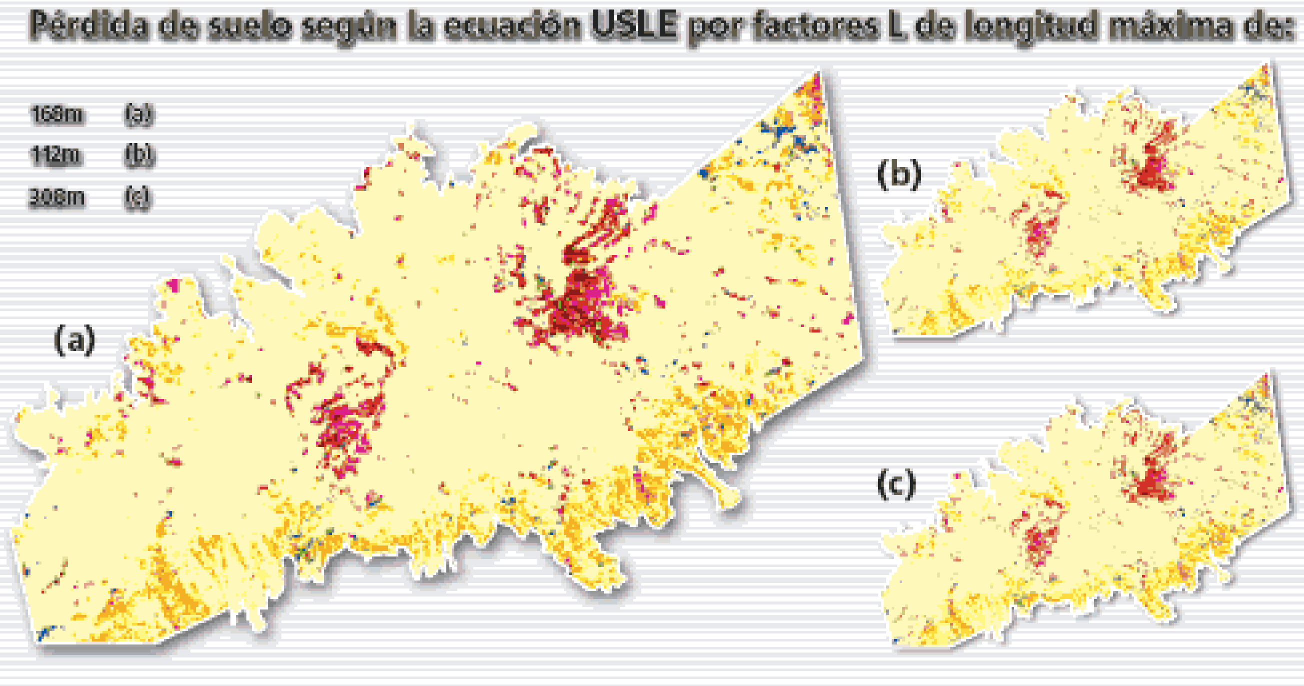
La comparación del factor L (longitud de pendiente) con límites de longitud máxima de 4 y 11 píxeles equivalentes a 112 y 308m, no se consideraron significativos; calculando el riesgo potencial a una longitud máxima de 112m, en la parte sur de la sierra donde el terreno es más escarpado, se tuvo en contraste con la longitud máxima de 168m solo 35ha de diferencia para un nivel de degradación moderada, la cual predomina en esta vertiente. Con la longitud máxima de 308m, en los fondos de los valles se estimaron valores más altos de pé rdida de suelo aun considerando la existencia de una cubierta vegetal, por lo que no se pueden esperar acumulaciones de corrientes tan largas bajo estas condiciones. El mapa final de riesgo potencial se generó con una longitud máxima de 168m.

Rango de pérdida de suelo

Rango de pérdida (Ton/ha/año)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Nivel de degradación
menor a 10	11616.95	82.7	ninguna
10 - 50	1520.02	10.8	moderada
50 - 100	211.98	1.5	alta
100 - 200	269.22	1.9	alta
200 - 500	279.75	2.0	muy alta
500 - 1000	55.83	0.4	muy alta
mayor a 1000	85.99	0.6	muy alta
Total	14039.74	100	

Pérdida de suelo según la ecuación USLE por factores L de longitud máxima de:

168m (a)
112m (b)
308m (c)



Conclusiones

1. Los valores de la pérdida potencial del suelo no deben interpretarse como valores absolutos, sino como valores de estimación, ya que la ecuación USLE no fue desarrollada para aplicarse bajo escenarios extremos de topografía; no obstante permite identificar y evaluar de manera aproximada el estado de peligro o riesgo de áreas susceptibles a la erosión.
2. El mapa resultante podrá ser útil como modelo predictible si son consideradas las acciones de protección adaptadas al factor P, aplicados para toda el área o en zonas especiales; este ejercicio proporcionará una base importante para la planificación de obras de protección, la aplicación es sencilla y sirve para estimar la disminución esperada de pérdida de suelo.

Agradecimientos
A SEP-PROMEP por el apoyo al proyecto EXB-364-2005

Bibliografía Cortes, T. H. G. (1991): Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 168 p. / Engel, B. (2003): Estimating Soil Erosion Using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Using ArcView (Version del 17.10.2003) online URL: http://pasture.ecn.purdue.edu/~abe526/resources/.../gisrusle.html (consulta: 18.08.2005) / FAO (1980): Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. 86 p. / Guerrero, N. J. J. y Lopez, C. G. (1997): La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco. Universidad de Guadalajara. México. 91 p. / INEGI (1972): Cartas Edafológicas: F13D72 Atengo, F13D74 Cocula, F13D83 Tecolotlán. INEGI. México. / INIFAP (2000): Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Periodo 1961 – 2000). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 281 p. / Kirkby, M. J. y Morgan R.P.C. (1984): Erosión de suelos. Editorial Limusa, México D.F. 375 p. / SARH (1993): Estudio de la flora y fauna de la zona protectora forestal Sierra de Quila. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México. / Villavicencio G. R. (2004): Kartierung von Vegetationsstrukturen und deren Veränderung mit Hilfe von Fernerkundung und terrestrischen Inventurverfahren – dargestellt am Beispiel des Schutzgebietes für Flora und Fauna "Sierra de Quila" im Bundesstaat Jalisco im Westen Mexikos. Cuvillier Verlag Göttingen. 161 p. / Wischmeier, W. H. and D.D. Smith. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning. USDA Agric. Handbook No. 537. 58 p.