

ISBN 970-27-1045-6

## **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”**

**Jan Röder<sup>1</sup>, Raymundo Villavicencio García<sup>2</sup>, Patricia Zarazúa Villaseñor<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Estudiante de intercambio de la Facultad Forestal y Medio Ambiente de la Universidad de Freiburg, Tennenbacherstrasse 4, Freiburg, Alemania. email: jan\_roeder@gmail.com

<sup>2</sup> Investigador. Departamento de Producción Forestal. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Universidad de Guadalajara. Carretera GDL-Nogales, Km. 15.5 CP. 45020 Las Agujas, Zapopan, Jalisco. Tel./Fax: (+52) 33 36820244. email: vgr02072@cucba.udg.mx

<sup>3</sup> Investigador. Departamento de Producción Sustentable. UDG-CUCBA. email: pzarazua@cucba.udg.mx

### **Introducción**

Los bosques llegan a ser alterados ecológicamente por diferentes tipos de degradación; independiente de la calidad del sitio y condición sanitaria en la que se encuentren, estos son susceptibles a incendios forestales, sobrepastoreo, fragmentación y uso ilegal, entre otros factores. Estos no solo afectan de manera directa cualquier cobertura, sino que además dañan indirectamente al suelo, ya que la vegetación proporciona la protección contra la erosión hídrica. Cualquier cambio generado en la cobertura vegetal, podría disminuir o hacer desaparecer la capa protectora del suelo y por consiguiente exponerlo aún más al efecto erosivo de una precipitación. Por una parte, la erosión baja la capacidad productiva del suelo, disminuye su fertilidad afectando la estabilidad fisiológica de las plantas, además de disgregar material consolidado, por otro lado, en zonas montañosas puede causar deslizamiento de suelos, mientras que en el fondo de los valles genera sedimentación, arrastre de sólidos y solubles que impactan negativamente los cuerpos de agua y su calidad. Considerando las montañas como un ecosistema frágil debido a que son fácilmente erosionables, el presente trabajo busca aportar mediante la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG), identificar en un espacio natural protegido áreas potencialmente críticas a ser erosionadas y, donde además esta aplicación pueda extrapolarse a sistemas similares.

### **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 y Métodos

El presente trabajo se desarrolló en el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) “Sierra de Quila”. Geográficamente se sitúa entre los paralelos 20° 14' y 20° 22' N; 103° 57' y 104° 07' W. Los rangos de altitud son de 1350m hasta 2560m y abarca una extensión superior a 15000ha (SARH, 1993), dentro de 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 también necesaria para este proceso, la cual fue obtenida de una clasificación supervisada de una imagen satelital (Landsat 7ETM) de enero de 2000 elaborada por Villavicencio (2004). Una carta de suelos y otra sobre precipitación media anual para el área de estudio se sumaron a las necesidades para este proceso. Todas las cartas temáticas se trabajaron en formato raster.

## Cálculo de la ecuación USLE

El riesgo potencial de erosión hídrica es calculado por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE con su sigla en inglés) (Wischmeier, 1978), siguiendo la fórmula:

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

donde:

- A : es la pérdida de suelo total (Ton/ha/año),
- R : es el índice de erosividad de la precipitación,
- K : es el factor de la erodabilidad del suelo,
- L : es el factor de longitud de la pendiente,
- S : es el factor de inclinación de la pendiente,
- C : es el factor de la cobertura vegetal y
- P : es el factor de prácticas de conservación.

## Factor R

El factor R, llamado “Factor de la precipitación”, expresa el efecto de erosividad por lluvia en un área. Debido a falta de datos climáticos referentes a la intensidad de la lluvia para el

APFF, el factor R no se calculó de acuerdo a la metodología de Wischmeier, sin embargo se utilizó un algoritmo adaptado por Cortés (1991) para los regimenes climáticos de México.

Para calcular este factor, los valores de la precipitación media anual se adquirieron de los registros de estaciones climáticas cercanas (INIFAP, 2003); para la parte norte de la sierra con precipitación más abundante, se utilizaron los datos de la estación *Ameca*, para la parte sur (clima cálido) los de la estación *Tecolotlán*. La carta de precipitación se generó delimitando un perfil orográfico que divide la sierra de la meseta ubicada en su parte centro-norte y la vertiente sur, la cual actúa como una barrera climática propicia para el desarrollo potencial de la selva baja caducifolia adaptada a zonas más secas, contrario a la comunidad vegetal que predomina en la meseta alta de la sierra (bosque templado).

### Factor K

El factor K, expresa la vulnerabilidad por erosión hídrica de un suelo. De acuerdo a Wischmeier (1978), las características que tienen un impacto importante a la disposición erosiva de un suelo son: a) el contenido [%] limo + arena muy fina (0.002-0.1mm), b) el contenido [%] de arena + arena fina (0.1-2mm), c) el contenido de materia orgánica [%], d) La clase de agregación y e) La permeabilidad. Bajo este principio, el cálculo del factor K se determinó utilizando el algoritmo:

$$100K = 2.1M^{1.14} (10^{-4}) (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

donde:

- K : Factor K  
M : (% limo + % arena muy fina) \* (% limo + % arena - % arena fina)  
a : Contenido de materia orgánica (%)  
b : Clase de agregación según la clasificación de suelos  
c : Clase de permeabilidad

A la carta de suelos le fue incorporada información sobre textura y grado de permeabilidad; los valores de distribución granulométrica se obtuvieron de la FAO (1980), por tipo de suelo y textura. Con base en lo anterior se estimó el factor K por tipo de suelo (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Valores estimados para el factor K por tipo de suelo

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

### Factor LS

El factor LS, es también llamado “factor topográfico” por asociar los factores de longitud y porcentaje de la pendiente. El cálculo se obtiene de la siguiente fórmula adaptada al sistema métrico decimal:

$$LS = (\lambda / 22.16)^m (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065)$$

donde:

- $\lambda$  : Longitud de la pendiente en pies
- $\theta$  : Angulo de la pendiente
- m : 0.5, si el % de la pendiente es mayor o igual a 5; 0.4, si oscila entre 3.5 y 4.5; 0.3, si varía entre 1 y 3%; 0.2, si es menor a 1.

El cálculo de la longitud por ladera resulta difícil tratándose de sistemas montañosos, donde en muchas ocasiones es imposible distinguir el transecto de cada pendiente. Para determinar este parámetro se aplicó la metodología propuesta por Engel (2003), utilizando la función “*Flow Accumulation*” de la extensión “*Hydro-Tools*” para ArcView®. Previamente se corrigió el MET, con la finalidad de eliminar depresiones que no producen escorrentía y así evitar errores de cálculo en la acumulación de la corriente. La función “*Flow Accumulation*” simula una corriente de agua desde el punto más alto transfiriendo el valor 1 al punto vecino más bajo, de tal manera que los valores aumentan según disminuye la pendiente. Bajo este principio se calculó la longitud de la pendiente multiplicando el valor de cada píxel por 28m (tamaño de píxel). Por considerar estimarse en longitudes largas (fondo de los valles y puntos muy bajos de escorrentía) valores de acumulación muy altos 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 motivo de determinar un límite longitudinal de pendiente responde a la posibilidad de sobreestimar sistemáticamente el factor L, ya que la ecuación USLE sugiere ser aplicada en terrenos con longitudes de pendiente limitadas (Wischmeier, 1978), por otro lado, el factor de longitud de pendiente tiene un impacto ligero en aquellos terrenos cubiertos con vegetación, por lo que no ocurrirían escorrentías tan largas (Topete, 2006 *op. cit.*). El factor S se obtuvo derivado del MET, mediante una carta de pendientes en grados. Finalmente para calcular el factor combinado LS se multiplicó cada factores L y S utilizando la función algebra de mapas, considerando sustituir los valores de S a radianes (Rad).

### Factor C

El factor de cobertura vegetal indica la capacidad de la vegetación para disminuir la fuerza erosiva. Wischmeier (1978) enlista diferentes índices por tipos de cobertura. Para este estudio, el factor C se determinó con base a la carta de vegetación, asignándole a cada cobertura un valor recomendado (cuadro 2).

**Cuadro 2.** Tipo de coberturas y valores del factor C.

<b>Cobertura</b>	<b>Factor C</b>
Bosque de Pino-Encino	0.001
Bosque de Encino-Pino	0.001
Bosque de Encino	0.001
Bosque abierto de Pino-Encino	0.150
Selva baja caducifolia	0.010
Regeneración/Reforestación	0.080
Agricultura	0.700
Pastizal	0.030
Áreas sin vegetación aparente	1.000
Sombras	1.000

**Factor P**

El factor P cuantifica el impacto de las prácticas de protección contra la erosión. Dado que no existen obras de protección dentro del área protegida, el valor para este factor es de 1.

**Resultados y Discusión**

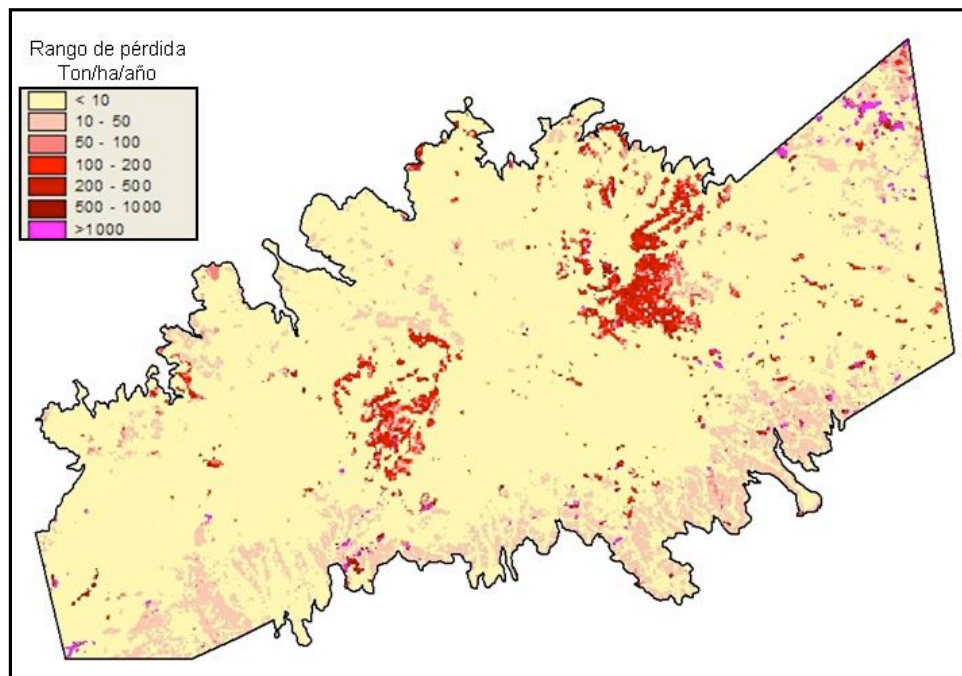
El 94% del APFF posee un rango de pendiente de 0 a 40%; la topografía en la parte centro-norte de la sierra se presenta moderadamente accidentada con declive promedio de 11%. Los subtipos de suelo predominantes son *Regosol eútrico* con 31%, *Foetzem háplico* con 34% y *Cambisol húmico* (17%). Una vez determinados todos los factores, estos se multiplicaron. El valor calculado de la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica en Ton/ha/año.

El cuadro 3 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 superpie.

La comparación del factor L (longitud de pendiente) con límites de longitud máxima de 4 y 11 píxeles equivalentes 112 y 308m, se no consideraron significativos; calculando el riesgo potencia a una longitud máxima de 112m, en el 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 el fondos de los valles se estimaron valores más altos de perdida 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 (figura 1).

**Cuadro 3.** Rangos de pérdida del suelo en APFF “Sierra de Quila”

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
<b>Total</b>	<b>14039.74</b>	<b>100</b>	

**Figura 1.** Mapa de riesgo potencial de erosión hídrica para el área protegida “Sierra de Quila”.

### 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 predecible si son consideradas las acciones de protección adaptando al factor P, aplicados para toda el área o en zonas especiales dependiendo del objetivo o fines de investigación. Este ejercicio

proporcionará una base importante para la planificación de obras de protección, ya que su aplicación es sencilla y factible para la estimación de la disminución esperada de pérdida de suelo por la aplicación de distintas acciones de protección.

### **Agradecimientos**

Al Proyecto SEP-PROMEPEX-364-2005. A Julio Juárez Valenzuela por su apoyo en la compilación base de la información.

### **Bibliografía**

- Cortés, T. H. G. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 168 p.
- Engel, B. 2003. Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) using ArcView (Versión 17.10.2003) online URL:<http://pasture.ecn.purdue.edu/~abe526/resources1/gisrusle/gisrusle.html> (consulta: 18.08.2006)
- FAO 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. 86 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. México.
- Guerrero, N. J. J. y López, C. G. 1997. La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco. Universidad de Guadalajara. México. 91 p.
- INEGI 1972. Cartas edafológicas F13D73 Atengo, F13D74 Cocula, F13D83. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México
- INIFAP 2003. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Período 1961–2000). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 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 (inédito). México.
- Topete, P. 2006. Opinión citada. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. México.
- Villavicencio, G. R. 2004. Kartierung von Vegetationsstrukturen und deren Veränderung in Naturschutzgebieten mit Hilfe von Fernerkundung und terrestrische Inventurverfahren –dargestellt am Beispiel des Schutzgebietes für Flora und Fauna “Sierra de Quila” im Bundesstaat Jalisco im Westen Mexikos. Cuvillier Verlag Göttingen. 161 S.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. USDA Agric. Handbook No. 537. 58 p.