

# ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN POTENCIAL EN LA CUENCA DE LA LAGUNA BUSTILLOS, CHIHUAHUA, MÉXICO

L.C. ALATORRE\*, A.K. GARCÍA, A.J. RODRÍGUEZ, V. ERIVES, E. GONZÁLEZ

\*Licenciatura en Geoinformática de la División Multidisciplinaria de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) en Cuauhtémoc, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, CP 31579 Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Email: luis.alatorre@uacj.mx.

## RESUMEN:

En la actualidad las ciudades se encuentran en un crecimiento acelerado lo que ocasiona también el crecimiento de actividades productivas, entre las cuales se pueden mencionar la agricultura y la ganadería. Presentando como consecuencia la pérdida de grandes áreas naturales para convertirse en tierras de cultivo o bien en tierras que son usadas para pastoreo, provocando el deterioro del suelo. La erosión del suelo es uno de los problemas ambientales más graves que se presentan en México, y en realidad es poco lo que se ha estudiado sobre este fenómeno. El objetivo de esta investigación es estimar las tasas de erosión potencial en la cuenca de la Laguna Bustillos mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). Como datos se utilizaron: información climatológica, edafología, mapa de cobertura y uso de suelo, y el modelo digital de terreno. Los resultados revelaron que las áreas con mayor erosión potencial se localizan en la franja que comprende desde los piedemontes hasta las cabeceras de las sierras, y por el contrario las áreas de menos erosión potencial se localizan en las zonas destinadas a tierras de cultivo, debido principalmente a una escasa pendiente.

**Palabras clave:** *Erosión potencial, cuenca de la Laguna Bustillos, Chihuahua, México, RUSLE*

## ABSTRACT

In the present cities are experimenting a great growth which also causes an increase in productive activities, among which may be mentioned agriculture and animal husbandry. Causing a loss of large natural areas to become farmland or lands that are used for grazing, causing soil degradation. Soil erosion is one of the most serious environmental problems that occur in Mexico, and in reality there is little that has studied this phenomenon. The objective of this research is to estimate potential erosion rates in the Laguna Bustillos basin by applying the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). The data base used was: weather information, soil properties, land use and land cover map, and the digital terrain model. The results revealed that the areas with the greatest potential erosion are located in the strip that extends from the foothills to the headwaters of the mountains, and contrary the areas with less erosion potential were localized in the areas under cropland, mainly due to low slope.

**Keywords:** *Potential erosion, Laguna Bustillos basin, Chihuahua, Mexico, RUSLE.*

## 1. INTRODUCCIÓN

A medida que la población humana aumenta, las necesidades de ésta 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. Todos estos procesos pueden ser englobados en uno solo, la degradación del suelo (Pando *et al.*, 2003).

En la actualidad, la atención científica y el destino de recursos financieros para el desarrollo de proyectos de investigación se están orientando cada vez más hacia una mejor comprensión y predicción de las consecuencias del cambio global sobre la erosión y la dinámica en la producción de sedimentos. (Alatorre *et al.*, 2013). La erosión puede definirse como el proceso de desprendimiento y transporte del suelo o material rocoso desde cualquier parte de la superficie de la Tierra por parte de los agentes erosivos (Foster & Meyer, 1977). La erosión del suelo es una forma severa de degradación física. Se estima que cerca del 80% de la tierra agrícola en el mundo sufre erosión moderada a severa y el 10% erosión ligera a moderada (Lal & Stewart, 1995).

En México, la pérdida de la capa arable de los suelos es uno de los principales problemas. La causa principal se debe al común denominador del mal manejo del suelo por el hombre, causando la erosión, con el consecuente empobrecimiento del

suelo y la pérdida de su productividad (Flores *et al.*, 2003). El problema de la erosión del suelo en México es de gran magnitud y la superficie estimada bajo condiciones de degradación ha sido variable en el tiempo, principalmente por los distintos enfoques de evaluación (Figuerola *et al.*, 1991).

A partir del estudio realizado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Universidad Autónoma de Chihuahua (SEMARNAT-UACH, 2002), encontraron que la pérdida de suelo en México por erosión hídrica afecta al 42% del territorio, sin embargo otros trabajos aseveran que la erosión hídrica afectaba al 85% de su territorio (Becerra, 1998; Alatorre y Beguería, 2009). En México, la agricultura constituye el sustento directo de 5,8 millones de personas e indirectamente de cerca del 25% de la población, sobre todo en las zonas rurales, de acuerdo a los datos de la Comisión Nacional de Población (CONAPO, 2008). Las consecuencias de la degradación de suelos sobre las actividades agropecuarias son notorias en México.

Chihuahua, el estado más extenso de México, en la evaluación realizada por SEMARNAT-UACH (2002), tiene un 65,09% de su territorio sin problemas de erosión, mientras que el 11,71% se encuentra con erosión ligera, un 18,23% con erosión moderada, un 4,28% con erosión severa y por último un 0,69% con erosión muy severa.

En la actualidad existe una gran variedad de métodos que permiten la estimación de áreas potenciales a ser erosionadas, los cuales van desde el análisis en campo hasta los modelos matemáticos que simulan cada uno de los factores que causan la erosión. Los modelos de erosión pueden ser clasificados en tres categorías:

empíricos, conceptuales y los de base física (Merritt, 2003; Alatorre *et al.*, 2009). La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), desarrollada por Wischmeier (1978), es un modelo empírico y ha sido la más empleada a nivel mundial como un primer acercamiento para determinar las áreas de erosión potencial. Por ello, el objetivo de esta investigación es aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE; Renard *et al.*, 1997) para determinar las áreas con mayor erosión potencial en la cuenca de la Laguna Bustillos, Chihuahua, México, para así tener una primera aproximación.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la cuenca de la laguna de Bustillos, entre las coordenadas 28°13'19" y 28°59'35" de latitud norte, y 106°34'39" y 107°10'33" de longitud oeste (Figura 1), con un área total de 2.298 km<sup>2</sup> (Figura 1 A, B y C). Es una cuenca cerrada de forma irregular por las sierras de Pedernales, San Juan, Salitrera, Chuchupate, Sierra Azul y Rebote, por lo cual la única aportación de agua es la procedente de la lluvia. La cuenca presenta una elevación media de 2000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), y está rodeada al norte, este, oeste y suroeste, por un conjunto de elevaciones que promedian 2400 m.s.n.m., con algunos picos que alcanzan los 2.887 m.s.n.m. (Figura 1C). La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 1991) indica que la climatología del lugar presenta una precipitación media anual de 415,7 mm, con clima semiseco templado y una temperatura media mínima de 14,6°C y máxima de 38°C a lo largo del año.

El fondo del valle está ocupado principalmente por suelos de tipo Phaeozems,

caracterizados por una marcada acumulación de materia orgánica en la parte superior del suelo, por lo cual son suelos fértiles y soportan una gran variedad de cultivos, así como pastizales. En la región también aparecen Vertisoles, cuya característica principal es la alternancia entre el hinchamiento y la contracción de las arcillas, lo que hace que se vuelvan duros en la estación seca y plásticos en la húmeda, haciendo que el labrado sea muy difícil excepto en los cortos periodos de transición entre ambas estaciones. En general, con un buen manejo, son suelos muy productivos. Los Luvisoles, de gran potencialidad para un gran número de cultivos a causa de su moderado estado de alteración y su, generalmente, alto grado de saturación. La unidad de suelos que predominan las sierras y los piedemonte son los Leptosoles. Estos suelos se caracterizan por su baja profundidad (menos de 30 centímetros) y por su alto contenido de grava. Son suelos poco o nada atractivos para el cultivo, presentando una potencialidad muy limitada para cultivos arbóreos o para pastos. La mejor opción es mantenerlos bajo bosque, ya que su alta susceptibilidad a la erosión hace que sea prioritario controlar este proceso.

### 2.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE)

La RUSLE se diseñó para calcular la erosión laminar y en surcos de terrenos agrícolas (Renard *et al.*, 1991). La predicción de la pérdida de suelo anual promedio se obtiene como función de seis factores:

$$A \text{ (ton ha}^{-1}\text{año}^{-1}\text{)} = R * K * C * LS * P$$

Donde, A es la pérdida de suelo (ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), R es el factor de erosividad de las precipitaciones (MJ mm ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), K es el factor de erodibilidad del suelo (ton

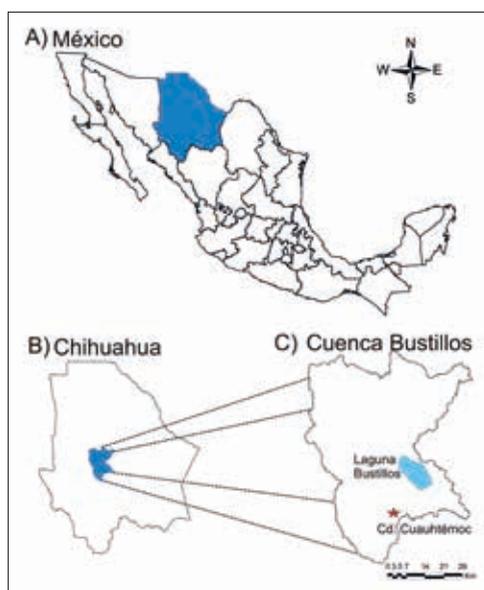


Figura 1. Localización de la cuenca de la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México.

ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), LS es el factor de longitud y pendiente de la ladera, C: cultivo y manejo del suelo y P: prácticas de conservación.

### 2.3. Factor R. Erosividad de la lluvia

El factor de erosividad de la lluvia, R, es el índice de erosividad presentado por Wischmeier y Smith (1978) y se define como la suma del producto de la energía cinética total y la intensidad máxima en treinta minutos por evento. Este producto también se conoce como el índice de Wischmeier, se expresa de la siguiente manera:

$$EI_{30} = (Ec) (I_{30})$$

Donde,  $EI_{30}$  = índice de erosividad para un evento en MJ mm / ha h, EC= energía cinética total de la lluvia en MJ / ha y  $I_{30}$ =

intensidad máxima de la lluvia 30 minutos en mm / h.

Dado que en la región solo se cuenta con datos diarios de precipitación, se ha optado por aplicar la ecuación de regresión lineal propuesta por Sánchez *et al.* (2007):

$$Y = 96.939 * PMD - 16.64$$

Donde, PMD es la precipitación media diaria. En la Figura 2 se observa la PMD de la cuenca que va desde 0,97 mm hasta 1,19 mm.

### 2.4. Factor K. Erodibilidad del suelo

Este factor representa la susceptibilidad del suelo a la erosión. Su valor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad. Para el área de estudio

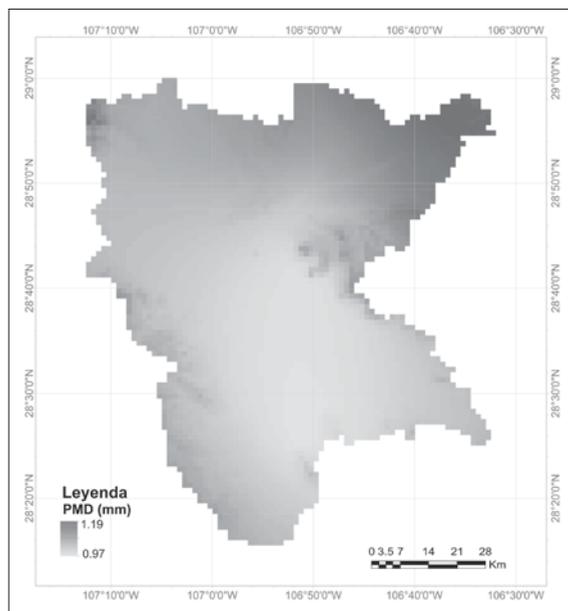


Figura 2. Precipitación media diaria (Téllez et al., 2011).

se estimó este factor mediante la siguiente ecuación propuesta por Wischmeier (1971):

$$100K = 2.1T^{1.14} (10^{-4}) (12-MO) + 3.25 (E-2) + 2.5 (P-3)$$

Donde: T= (% limo + arena muy fina) \* (100 - %arcillas); MO= % de materia orgánica; E= código de estructura del suelo; P= clase de permeabilidad.

Para el cálculo de estos parámetros fue necesario utilizar una base de datos de geología y edafología desarrollada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2004).

### 2.5. Factor C. Cultivo y manejo del suelo

El factor de cultivo y manejo del suelo, C, es un índice del grado de cobertura y protección que presenta la vegetación. Ese factor es constante para los cultivos

permanentes y variable para los cultivos anuales. Para la estimación del Factor C, se hizo uso de los valores propuestos por Almorox *et al.* (1994) y el mapa de coberturas y uso de suelo del área de estudio (Figura 3). En la tabla 1 se muestran los valores asignados para cada cobertura y uso de suelo de la cuenca de la Laguna Bustillos.

### 2.6. Factor LS. Longitud y Pendiente de la ladera

El efecto de la topografía sobre la erosión está representado por los factores de longitud (L) y el grado de pendiente (S). La longitud L se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente al grado de que ocurre el depósito, o bien, hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un canal de salida bien definido.

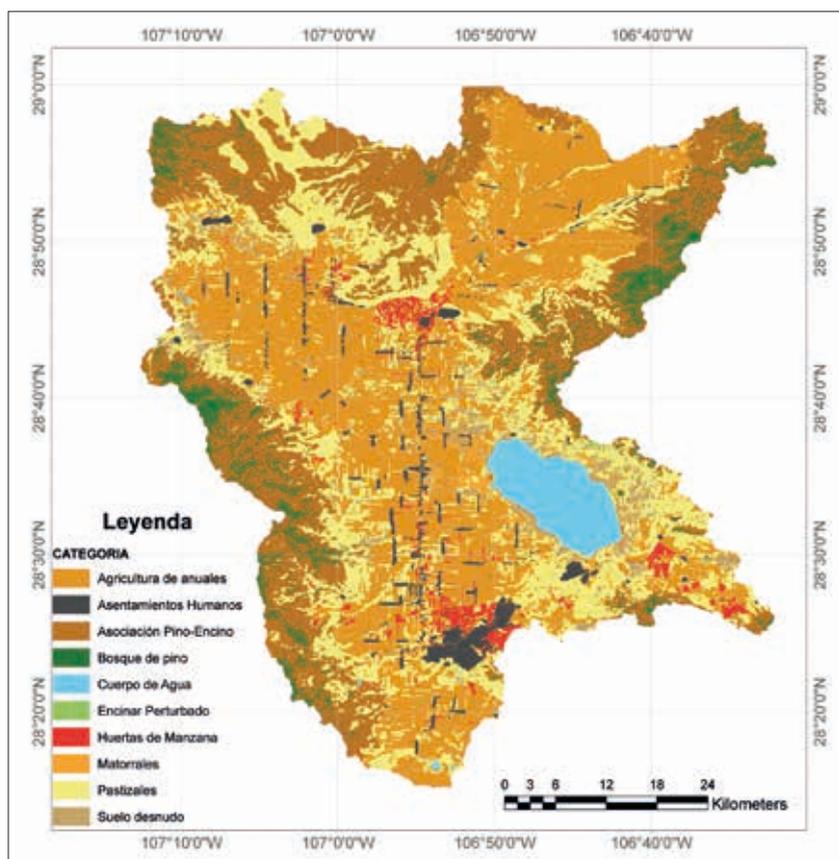


Figura 3. Coberturas y usos de suelo (Bravo et al, 2012).

Tabla 1. Factor C propuesto para cada una de las coberturas y uso de suelo presentes en el área de estudio (Almorox et al., 1994).

CATEGORÍA	Factor C
Agricultura de anuales	0,1844
Asentamientos Humanos	0
Asociación Pino-Encina	0,0250
Bosque de pino	0,0275
Cuerpo de Agua	0
Encinar Perturbado	0,0600
Huertaz de Manzana	0,0410
Matorrales	0,2000
Pastizales	0,0640
Suelo desnudo	0,2000

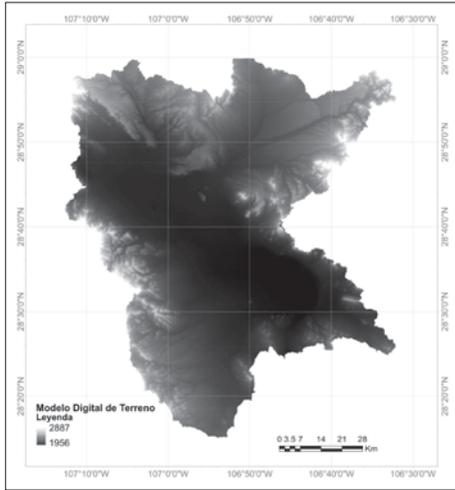


Figura 4. Modelo Digital de Terreno.

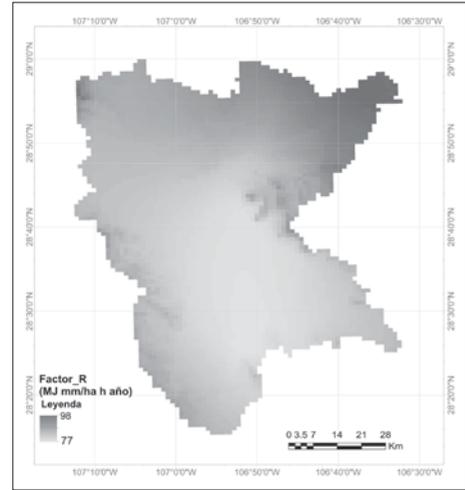


Figura 5. Factor R.

Para determinar el Factor LS, se utilizó la metodología propuesta por Mitasova *et al.* (1995) donde a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un Modelo Digital de Terreno (MDT) (Figura 4) se obtiene el Factor LS.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Factor R. Erosividad de la lluvia

El resultado de aplicar el modelo de regresión lineal entre los valores de R-Diario y la precipitación media diaria para la cuenca de la Laguna Bustillos se muestran en la figura 5 (factor R). Los valores del factor de erosividad obtenidos se encuentran entre los rangos de 77 a 98 MJ mm/ha h año (Figura 5), los valores más elevados se localizan principalmente al noreste de la cuenca, y los valores más bajos en el fondo del valle.

#### 3.2. Factor K. Erodibilidad del suelo

Los valores obtenidos del factor K reflejan la susceptibilidad que tiene el suelo

para ser desprendido por el agente erosivo, en este caso refiriéndonos principalmente a la escorrentía superficial. En la figura 6 se muestran los resultados del factor K, donde la distribución espacial no sigue un patrón específico, pero si una asociación al tipo de unidad edafológica, al tipo de textura y contenido de materia orgánica (INEGI, 2004). Los valores más bajos se encuentran en los fondos del valle y en las zonas más planas, con valores que próximos a 0,05 ton ha h ha MJ mm, y los valores más altos se encuentran en las zonas altas de las sierras que circundan la cuenca con valores de 0,11 ton ha h / ha MJ mm.

#### 3.3. Factor C. Cultivo y manejo del suelo

El factor C representa el efecto de la vegetación, el porcentaje de cobertura y las actividades perturbadoras que afectan al suelo y que lo exponen a la erosión hídrica. Los valores de este factor indican el grado en el que reduce el impacto directo

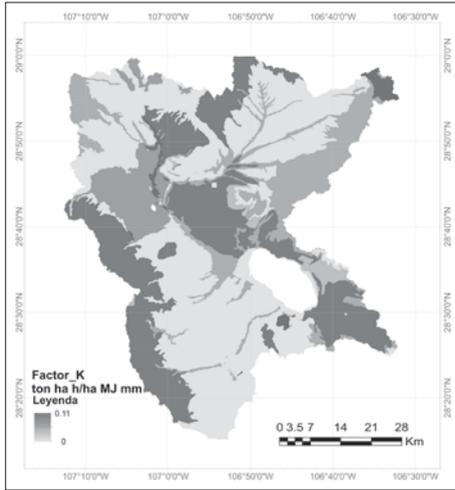


Figura 6. Factor K.

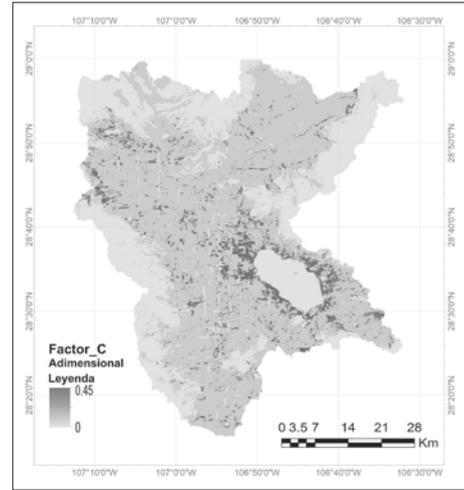


Figura 7. Factor C.

de las gotas de lluvia al suelo y la velocidad de la escorrentía. Los valores para el factor C en el área de estudio van de 0 a 0,45 (figura 7), correspondiendo los valores bajos al área que ocupan los cuerpos de agua, las áreas urbanas y las zonas altas de montaña, como puede apreciarse, los cultivos agrícolas ofrecen una buena protección contra la fuerza erosiva de las lluvias, las áreas con una excelente protección se encuentran ubicadas junto a la laguna Bustillos.

### 3.4. Factor LS. Longitud y Pendiente de la ladera

El factor LS representa la longitud de pendiente y la pendiente proporcional, la distribución espacial de los valores más altos de este factor se encuentran principalmente en las sierras que delimitan la cuenca de la Laguna Bustillos, donde el relieve es más accidentado, lo cual da mayor probabilidad a que la erosión se presente con mayor severidad en estas zonas, éstos

es debido a que las pendientes pronunciadas aceleran la velocidad de la escorrentía (Figura 8).

### 3.5. Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada RUSLE

El resultado de multiplicar todos los factores que integran la RUSLE se observa en el mapa de erosión potencial (Figura 9). De acuerdo a la distribución espacial de los valores de la erosión potencial, se observa que los valores más altos (superiores a 60 t / ha por año) se concentran en las partes altas de las sierras que rodean y delimitan el área de estudio, principalmente en las regiones localizadas al Oeste y Este de la cuenca, mientras que las zonas planas y bajas de la cuenca albergan los valores más bajos (próximos a 0 ton / ha por año).

## 4. CONCLUSIONES

La implementación del modelo empírico RUSLE ha permitido identificar áreas

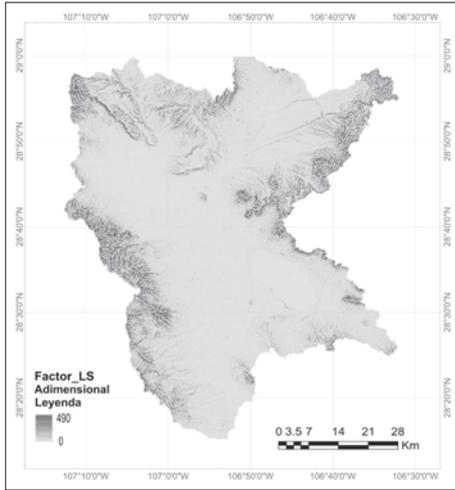


Figura 8. Factor LS.

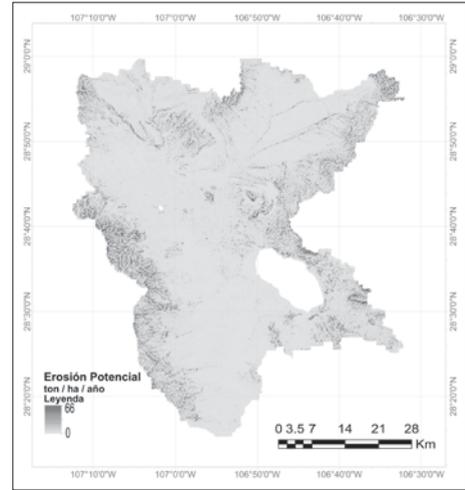


Figura 9. Tasas de erosión potencial determinadas con la RUSLE.

potenciales a ser erosionadas en la cuenca Laguna de Bustillos. La principal ventaja de este modelo empírico es la sencillez de su implementación a partir de fuentes de información disponibles para cualquier área de estudio. En este caso se encontraron algunos limitantes, principalmente para la información geológica, edafológica y las características de la precipitación. A pesar de los limitantes fue posible cumplir con todos los objetivos, logrando identificar las áreas con mayores tasas de erosión potencial (sierras y piedemontes), así como las grandes extensiones localizadas en las zonas planas y bajas de la cuenca, que presentan bajas tasas de erosión potencial, a pesar de que la actividad agrícola es preponderante, de sus bajas pendientes y de la cobertura casi permanente de los terrenos. Estos resultados son un primer acercamiento a esta problemática; opinamos que, a pesar de sus limitaciones, pueden ser empleados como base para tomar ac-

ciones de mitigación de la erosión en las áreas de mayor vulnerabilidad.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento integro al Dr. José María H. García Ruíz, quien compartió conocimientos y pasión para afrontar la investigación aplicada sobre la erosión en el Pirineo español, y por tener siempre unos minutos para conversar, orientarme y enriquecer mi estancia pre-doctoral en el Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), España, 2007-2010. En México, su legado y recuerdo me acompaña.

## 6. REFERENCIAS

- Alatorre, L. C., Beguería, S., Lana-Renault, N. & Navas, A. (2013): Modelización espacialmente distribuida de la erosión y el transporte de sedimento en cuencas de montaña del Pirineo aragonés: retos para la calibración y validación. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39(2): 213-240.
- Alatorre, L.C. & Beguería, S. (2009): Los modelos de erosión: una revisión. *Cuaternario & Geomorfología*, 23 (1-2): 43-62.

- Almorox, J., De Antonio, R., Saa, A., Cruz Díaz, M. & Gasco, J.M. (1994): *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. Ed. Agrícola Española, 152pp.
- Bravo, L.C., Díaz-Caravantes, R., Alatorre-Cejudo, L.C., Sánchez-Flores E. & Aguilar-Estrada, S. (2012): Cambios de la cubierta vegetal y los usos del suelo en una cuenca endorreica de la región central de Chihuahua durante el periodo 1993-2010: una zonificación desde la perspectiva hidrofuncional. *XIX Reunión Nacional de la Sociedad de Especialistas en Sensoría Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER)*, 19: 390-398.
- Becerra, A. (1998): Conservación de suelos y desarrollo sustentable, ¿utopía o posibilidad en México? *Terra*, 16, 181-187.
- CONAGUA (1991): *Actualización del estudio geohidrológico, políticas de operación y proyecto de manejo del acuífero del Valle de Cuauhtémoc Chihuahua*, Comisión Nacional del Agua. Contrato CNA-GRN-90-009, 186 pp.
- CONAPO (2008): *La situación demográfica de México 2008*, México.
- Flores H.E., Martínez, M., Oropeza, J.L., Mejía, E. & Carrillo R. (2003): Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatlán, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, A.C. México. Vol. 21. (2): 233-244.
- Foster, G.R. & Meyer, L.D. (1977): Soil erosion and sedimentation by water: an overview. In: ASAE (Editor), *Proceedings of the National Symposium on Soil Erosion and Sedimentation by Water*, pp. 1-13.
- García-Peña, A.K., Ojeda-Ramírez, L.A., Pérez-Galdeán, G., Servin-Corpus, Y. & Alatorre-Cejudo, L.C. (2013): *Evaluación de las extracciones de agua subterránea por métodos indirectos en la región de Cuauhtémoc: aplicando la teledetección y SIG*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- INEGI (2004). *Información Nacional sobre Perfiles de Suelo*. ISBN: 970-13-2557-5
- Lal, R. & Stewart, B.A. (1995): *Soil Management, Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality*. CRC Press, Inc. 555 pp.
- Merritt, W.S., Letcher, R.A. & Jakeman, A.J. (2003): A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18, 761-799.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. & Iverson, R. L. (1996): Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS, *Int. Journal of Geographical Information Science*, 10(5): 629-641.
- Pando M., Gutierrez, M., Maldonado, A., Palacio, J.L. & Estada, A.E. (2003): Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM., 51: 23-36.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. & Yonder, D.C. (1997): *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook Number 703.
- Sánchez, R.A., Sánchez, S.C., Garatuza, J.P. & Alatorre, L.C. (2007): *Biofísica, socioeconomía y degradación del suelo en la Cuenca del Río Mátape. Hermosillo, Sonora, México*. Instituto Tecnológico de Sonora.
- SEMARNAT-UACH. (2002): *Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1000000*. México 2002.
- Téllez, O., Hutchinson, M., Nix, H. & Jones, P. (2011): *Cambio Climático: aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 15-18 pp.