

Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas

Elibeth Torres Benites¹
José Cortes Becerra¹
Jesús Uresti Gil^{2§}
Luis Torres Cedillo¹
Pedro Sinai Rivera Torres¹

¹Manejo Integral de Cuencas SA de CV. José María Pino Suárez Mz. 15, Lt. 19, Nezahualcóyotl, Texcoco, Estado de México. CP. 56263. Tel. 595 9529824. (elibeth.tb@gmail.com; jcortesbecerra@gmail.com; ltorres.cedillo@hotmail.com; pedro.riverat@hotmail.com). ²Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera San Miguel de Allende-Celaya km 6.5, Celaya, Guanajuato. CP. 38110.

§Autor para correspondencia: uesti.jesus@inifap.gob.mx.

Resumen

En la cuenca del Cañón del Sumidero, estado de Chiapas, México, el suelo es un componente del medio natural fuertemente afectado por la erosión debido al manejo inadecuado del recurso suelo. La medición de la erosión del suelo lleva mucho tiempo y los datos de las tasas de erosión del suelo en México son limitados y puntuales, además, aportan poca información sobre las tasas de pérdida de suelo a nivel de cuenca. En el presente estudio se usaron metodologías para la aplicación de la USLE/RUSLE, desarrolladas en diversos estudios y países, con el propósito de realizar la cartografía de erosión hídrica de la cuenca del Cañón del Sumidero, la cual constituye una herramienta significativa para tomar decisiones en el manejo y conservación de suelos. Se propone una serie de herramientas metodológicas para la generación de la cartografía de erosión hídrica usando información en México a diversas escalas. Los resultados se presentan como una referencia geográfica anual promedio de pérdida de suelo y su distribución mensual. El análisis de resultados indica que 73% de la cuenca presenta algún grado de erosión, que junio es el mes que la erosión es mayor (7 021 906.9 t) y que la erosión promedio anual en el área de estudio es 41.5 t ha⁻¹ año⁻¹.

Palabras clave: recursos naturales, RUSLE, SIG, USLE.

Recibido: junio de 2020

Aceptado: octubre de 2020

Introducción

A nivel mundial, la planificación del territorio se ve afectada por la degradación de los recursos naturales, especialmente el suelo, por lo cual este es un tema de mucho interés en las investigaciones desarrolladas en la actualidad. Así Ganasri y Ramesh (2015) sostienen que cuantificar y zonificar la pérdida de suelo es fundamental para la implementación de mejores prácticas de conservación, por cuanto se estima que a escala planetaria, la degradación de suelos por actividades antropogénicas supera los 2 000 millones de hectáreas, de las cuales alrededor de 1 100 millones son por erosión hídrica.

Como resultado de los procesos de deforestación y degradación de la vegetación, estimaciones de la SEMARNAT y UACH (2003) manifiestan que 42% del territorio mexicano presenta problemas de erosión hídrica potencial. La categoría de muy severa ($>$ de $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) afecta 3%, la categoría alta (50 a $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) 8 %; moderada (10 a $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) 20% y ligera 11% (5 a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Estas degradaciones específicas potenciales implican que gran parte del territorio nacional rebasaría los límites máximos permisibles de pérdida de suelo establecidos en el manual de agricultura de EE. UU. (Wischmeier y Smith, 1978); FAO (CP, 1991).

En el estado de Chiapas, la erosión es un problema importante. El estudio llevado a cabo por SEMARNAT y UACH (2003), basado en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), señala las siguientes afectaciones: erosión ligera 10% (5 a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), erosión moderada 26% (10 a $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); erosión severa 17 % (50 a $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); muy severa ($>$ $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). El resto del territorio se encuentra en la categoría de nula (0 a $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

Debido a que la erosión es un proceso que puede tener consecuencias de importancia, que varían desde modificaciones irreversibles al hábitat y pérdida de biodiversidad (Mol y Ouboter, 2004), hasta daños a infraestructura, inundaciones, azolvamiento de cuerpos de agua, entre otros, han sido desarrolladas diversas técnicas para tratar de minimizar sus efectos, que pueden clasificarse en tres grupos: técnicas agronómicas (las que utilizan la vegetación para proteger el suelo), las de manejo (preparan el suelo para mejorar su estructura y su capacidad de favorecer el desarrollo vegetal) y las mecánicas o físicas (relacionadas a la ingeniería, incluyen desde modificaciones a la topografía hasta la construcción de terrazas, cortavientos o encauzamientos de agua o aire) (Morgan, 1997).

Hua *et al.* (2001), indican que el requisito básico para entender los impactos de cambio en el uso del suelo y clima sobre la erosión de la superficie es conocer las fuentes, tipos y tasas de erosión con el uso actual del mismo y en diferentes escenarios climáticos. Para la escala de cuenca y las condiciones de México ha sido necesario calibrar y adecuar una versión simplificada de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) (Renard *et al.*, 1994).

Las ventajas de usar la RUSLE en estudios de erosión son: 1) requiere una cantidad mínima de parámetros que pueden obtenerse a escala nacional y adaptarse a escala de cuenca; 2) en combinación con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), mediante la generación de un mapa base en formato RASTER, con la RUSLE se puede predecir la erosión potencial celda por celda basada en los patrones espaciales de la cartografía; y 3) resulta sencillo analizar la función de los factores individuales que contribuyen a la tasa de erosión calculada.

El objetivo principal del presente estudio es ofrecer una herramienta metodológica que permita determinar la distribución espacial de las tasas reales de erosión laminar y en canalillos a escala de cuenca, la cual permitirá la toma de decisiones adecuadas para el manejo y conservación del suelo, utilizando técnicas de percepción remota e integrando los resultados en un modelo de SIG.

Materiales y métodos

Área de estudio

La Cuenca del Cañón del Sumidero se localiza en la depresión central del estado de Chiapas, México entre las coordenadas 15° 56' 55" a 16° 57' 26" latitud norte y 92° 30' 44" a 93° 44' 35" longitud oeste, ocupa una superficie de 6 700 km² (Figura 1), presenta 11 unidades climáticas, destacando la unidad Aw1(w), con temperatura media anual de 22 °C y una precipitación anual de 1 147 mm. Los intervalos de elevación van de 1 200 a 3 520 m y las pendientes varían desde menores a 2% hasta superiores a 45%. De acuerdo con la cartografía del INEGI (1977), escala 1:50 000, el orden de suelo dominante es el regosol (33.8%), seguido por litosoles (29%) y rendzinas (10.5%). El uso del suelo es predominantemente forestal (60%), 23% es agrícola, 14% pastizal, 2% urbano y 0.48% cuerpos de agua.

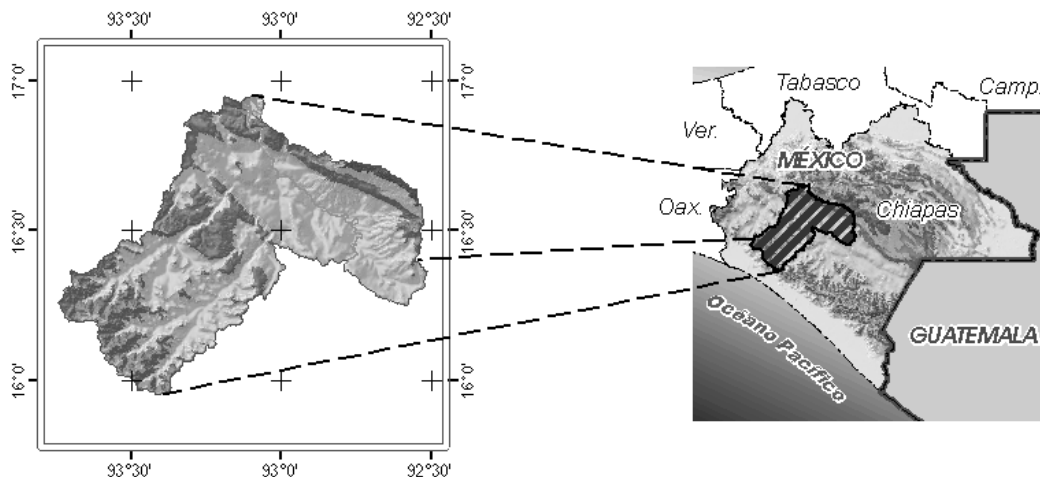


Figura 1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Cañón del Sumidero.

Ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE)

La RUSLE (Renard *et al.*, 1997) calcula la pérdida de suelo media anual como un producto de seis factores: erosividad por lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud de la pendiente (L), grado de la pendiente (S), factor manejo y cobertura del suelo (C) y factor prácticas conservacionistas (P) y se expresa de la siguiente forma: $A = RKLSCP$.

Para el cálculo medio mensual de los factores R y C implicados en la ecuación (1), consideró la relación propuesta por Hua *et al.* (2001): $y_j = R_j K L S C_j$ (2); donde: $C_j = \sum_{j=1}^{12} (SLR_j \frac{R_j}{R})$, R_j : R_j y SLR_j = factor de manejo de la cobertura, erosividad de la lluvia y el porcentaje de pérdida de suelo, respectivamente, para el mes j.

Factor de erosividad por la lluvia (R)

El factor R se cuantificó a partir del análisis de la precipitación media mensual reportada para las estaciones climáticas localizadas dentro y cercanas del área de trabajo. La información de precipitación se consultó del extractor rápido de información climática (ERIC III) generado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2006).

Cortés (1992), creó un mapa de isoerosividad para México a partir de la precipitación media anual en el cual se definen 14 regiones, para cada una obtuvo una ecuación de regresión por lo que se puede calcular el valor del factor R al conocer la precipitación anual. Considerando lo anterior, el área de estudio se ubica en las regiones XII y XIV. Sin embargo, de acuerdo con SEMARNAT y UACH (2003) en la zona XIV existe una sobreestimación del factor de erosividad de la lluvia, por lo que se retomó la ecuación genérica del comportamiento de la intensidad de la lluvia.

Se analizó la información de 95 estaciones meteorológicas, obteniendo el valor del índice de erosividad en 30 min (EI_{30}) medio mensual para cada una, posteriormente se definieron áreas de influencia de estación considerando condiciones similares de orografía y ubicación geográfica. A los polígonos de influencia de estación meteorológica se les asignaron los valores de EI_{30} para la obtención del mapa del factor R dentro de la cuenca.

Factor de erodabilidad del suelo (K)

El factor K, se estimó a partir del nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), basado en los resultados de laboratorio de las muestras de campo. Los sitios de muestreo se ubicaron de manera tal que se tuvieran representadas las subunidades de suelos y el uso actual del mismo.

Factor longitud de pendiente (L) y grado de pendiente (S)

El factor LS se calculó mediante el algoritmo que calcula la máxima pendiente como directamente la diferencia entre la celda central y una vecina, constituido por el algoritmo de máxima pendiente aguas abajo de Hickey *et al.* (1994), el cuál ha sido actualizado y escrito en código C++, por Van Remortel, Maichle y Hickey (2004), en base a los trabajos realizados por Hickey *et al.* (1994) y Hickey (2000), a partir del modelo digital de elevaciones (MDE) elaborado para la zona de estudio del continuo de elevación digital de México, versión 2 (CEM 2.0) generado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011).

Este método considera la elevación de la celda central (z_9) cuando se estima la pendiente, y a su vez a este tipo de metodologías, se las denominan como no-promediada. Este método propone que la máxima pendiente (relación opuesto/adyacente) entre la celda central (z_9) y sus 8 vecinos (z_1 a z_8) va a ser usado para la estimación de la pendiente en la celda central en una máscara de 3 x 3 celdas (Dunn *et al.*, 1998).

Este procedimiento calcula la máxima pendiente aguas abajo para una máscara de 3 x 3 celdas con la siguiente ecuación: $S = \max \frac{[(Z_9 - Z_i)]}{L_c} * 100$ 3); donde: S= pendiente en porcentaje. L_c = distancia entre los centros de cada celda ($d * \sqrt{2}$ para los vecinos adyacentes diagonalmente a la celda central (Z_1, Z_3, Z_5 y Z_7); $i = 1, 2, 3, 8$).

La longitud de pendiente no acumulada (LPNA) es calculada para cada celda dentro la cuenca. La distancia en cada celda es estimada usando las siguientes condiciones: Si la celda de entrada esta en dirección cardinal (N, S, E, O), entonces $LPNA = (\text{resolución de celda})$. Si es en dirección diagonal, $LPNA = 1.4142x$ (resolución de celda). Si la celda que está siendo calculada es una cresta o cima (high point), entonces $LPNA = 0.5x$ (resolución de celda).

Este cálculo está basado sobre el supuesto que las estimaciones de la longitud de pendiente son desde el centro de una celda hasta el centro de la celda de entrada. Por tanto, como las crestas o cimas no tienen una celda de entrada, el valor de 0.5 representa solamente la erosión ocurriendo en la mitad de esta celda, a partir del punto central.

Factor cobertura vegetal y manejo de cultivos C

A escalas grandes, la obtención apropiada de los valores de C fundamentalmente requiere estimaciones precisas de la cobertura del dosel y la cobertura del suelo, ya que ofrecen protección contra la erosión muy diferente. A pesar, de que la cubierta de las copas de los árboles se puede estimar en promedios anuales, debido a que el crecimiento es relativamente lento, existen fuertes patrones estacionales de la cubierta del suelo que se relaciona con los patrones estacionales de las precipitaciones (Rosewell, 1993; Pacheco, 2012).

Por lo tanto, se hace necesario calcular los valores medios mensuales de C para mostrar las variaciones estacionales en la cubierta. La mejor forma de evaluar los patrones de la cubierta a través de una amplia zona es mediante la interpretación de los datos de imágenes de satélite debido a que la percepción remota es el único medio práctico que ofrece de forma continua y constante el monitoreo de la cubierta vegetal inclusive en una escala continental.

La información de la cobertura vegetal se obtuvo a partir del sensor MODIS, disponible en la página de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Se elaboraron mapas a nivel mensual de índice de vegetación normalizada (NDVI), del año 2003 a 2007, contando así con 36 valores puntuales de cada tipo de cobertura (si se considera como ejemplo el bosque de encino con vegetación primaria que tuvo 676 valores puntuales a nivel mensual, en el total del ciclo, se obtuvieron 24 336 valores, únicamente para dicha cobertura).

De acuerdo con diversos trabajos realizados por instituciones a nivel nacional e internacional, se emplea el NDVI como una medida de la cubierta vegetal en una determinada zona. En 2001, el commonwealth scientific and industrial research organization (CSIRO) en Australia, generó el mapa de erosión laminar a nivel mensual, por medio del análisis temporal de la lluvia y la cobertura vegetal, en dicho trabajo, se establecieron relaciones entre el NDVI y factor C de la EUPSR.

Los valores del NDVI mensual fueron combinados con los tipos de cobertura vegetal obtenidos del mapa de uso actual del suelo, teniendo como resultado la dinámica mensual de la cobertura. Para transformar los valores del NDVI a factor C de la EUPS, se trabajaron con relaciones indirectas, tales como índice de área foliar (LAI), relaciones simples (SR) entre las bandas 3 y 4 del satélite LANDSAT ETM⁺, además de considerar el tipo de cobertura (leñosa o forestal, predominantemente matorral y predominantemente herbácea).

Factor de prácticas mecánicas encaminadas al control de la erosión hídrica (P)

Debido a la falta de datos específicos sobre la ubicación de prácticas de conservación existentes, se asume el valor de $P=1$ en toda la cuenca. Dado este escenario, la tasa de pérdida de suelo calculada refleja el potencial de erosión en las condiciones actuales, sin prácticas de conservación de suelos de apoyo. La (Figura 2) resume la metodología seguida en el presente estudio.

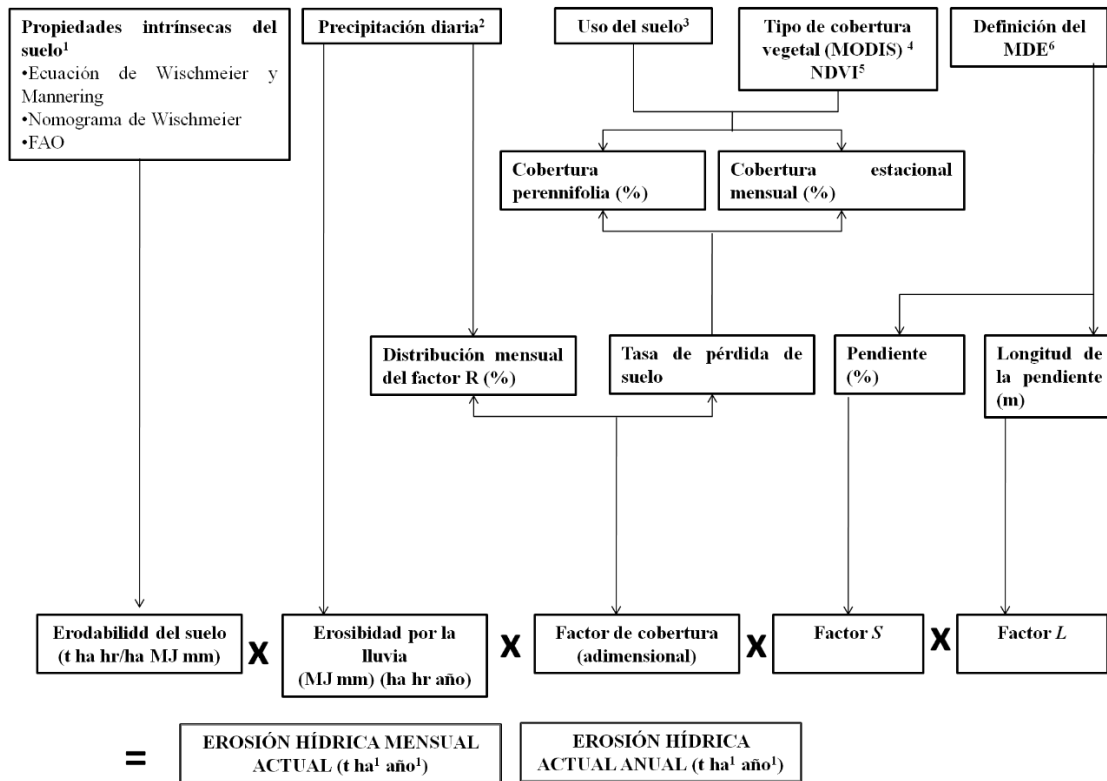


Figura 2. Diagrama metodológico para la obtención de las tasas de erosión laminar.

Resultados y discusión

Obtención de los factores de la RUSLE

El índice de erosividad de la lluvia anual oscila de 3 334 a 15 964 $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$. En la Figura 3 se muestran los valores medios mensuales y anuales de R, siendo a partir de mayo cuando el potencial erosivo de la lluvia aumenta, alcanzando en este mes valores de 193 $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, para septiembre se presenta el potencial erosivo de 607 $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$.

La cuenca del Cañón del Sumidero es más sensible a la erosión por sus condiciones edáficas y topográficas en las partes altas, donde se tienen los mayores intervalos de pendiente y suelos someros y poco desarrollados, los intervalos de susceptibilidad a la erosión de la cuenca van de 0.0001 a 0.08 $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ\ mm^{-1}$.

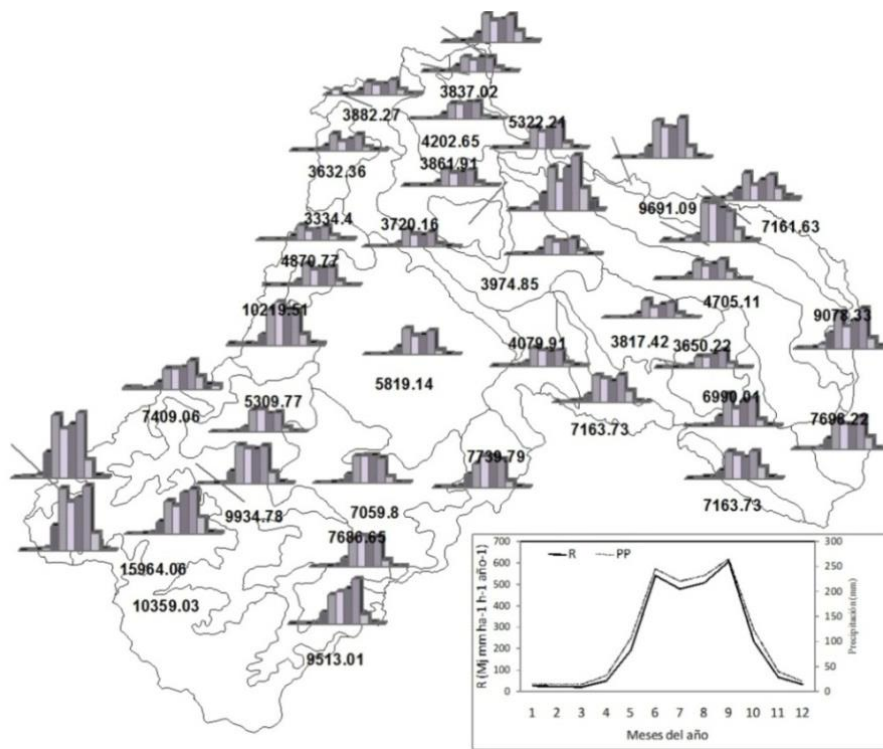


Figura 3. Distribución espacio-temporal del factor R.

El Cuadro 1 indica que 335 395 ha (50%) de los suelos de la cuenca tienen susceptibilidad a la erosión en un rango de 0.0201 a 0.026 t ha h ha⁻¹ Mj mm⁻¹. Solo 1 077 ha (0.2%) de los suelos son altamente susceptibles a la erosión y oscilan en el rango de 0.0791 a 0.08 t ha h ha⁻¹ Mj mm⁻¹.

Cuadro 1. Superficies de rangos de K en la cuenca del Cañón del Sumidero.

Rango de K (t ha h ha ⁻¹ Mj mm ⁻¹)	Superficie (ha)	(%)
0.0001-0.007	7 041	1
0.0071-0.013	18 110	3
0.0130-0.02	47 494	7
0.0201-0.026	335 395	50
0.0261-0.04	55 274	8
0.0401-0.079	205 610	31
0.0791-0.08	1 077	0.2
Total	670 000	100

A diferencia de otros métodos que estiman la longitud de la pendiente, el de Hickey da un paso más e integra en su código AML para ArcInfo el llamado ángulo de pendiente límite (cutoff slope angle), para rangos de pendiente menores y mayores a 5%. Otro importante avance es también el

dado a las crestas o cimas (high points), las cuáles no tienen una celda de entrada, por lo que se les otorga un valor igual al de la mitad de la resolución, lo que representaría solamente la erosión ocurriendo en la mitad de esta celda, ya que las mediciones son siempre entre los centros de dos celdas consecutivas. Los valores de LS en la cuenca del cañón del sumidero fluctúan de 0.3-11.412 a 89.198-100.311 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rangos de longitud y grado de pendiente en la cuenca del Cañón del Sumidero.

Rango de LS (adimensional)	Superficie (ha)	(%)
1-1.5	160 428	24
1.5-2	147 528	22
2-2.5	116 276	17
2.5-3	84 163	13
3-3.5	74 145	11
3.5-4.5	66 913	10
> 4.5	20 548	3
Total	67 000	100

En la Figura 4 se muestra la distribución gráfica de NDVI medio mensual por tipo de cobertura. En la Figura 5 se expresa la distribución gráfica de los valores del factor C por tipo de cobertura vegetal. Cabe señalar que, si bien los valores de NDVI son similares entre coberturas forestales a los de las coberturas herbáceas, el valor de C no es el mismo, dado el comportamiento de la vegetación ante la energía cinética de la lluvia. Los valores del factor C oscilan en los rangos de 0.002 a 0.003 para bosque y selva y 0.04 a 0.8 para uso agrícola (Figura 6).

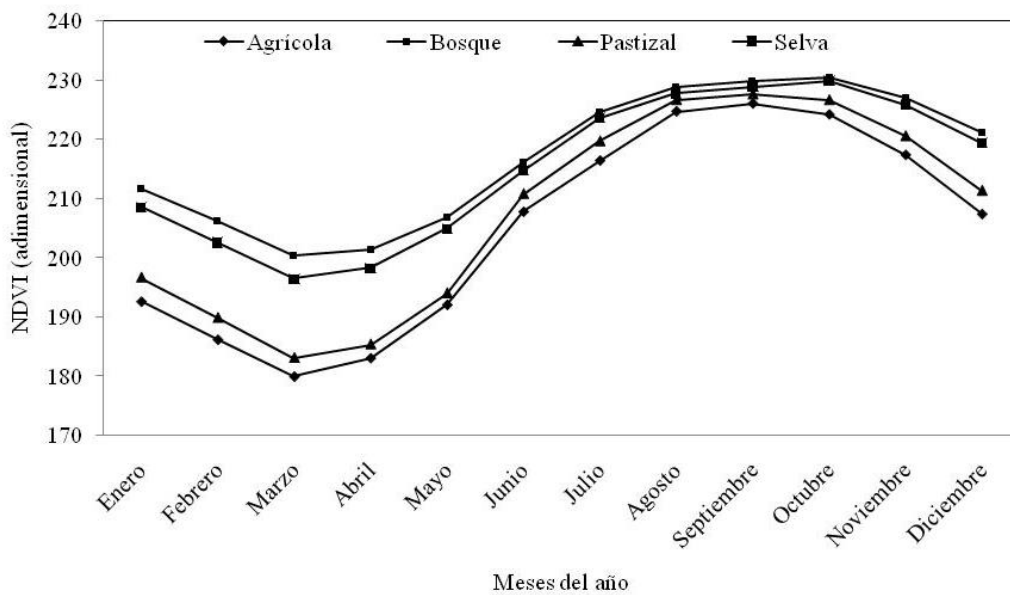


Figura 4. Valores medios mensuales de NDVI por tipo de cobertura vegetal.

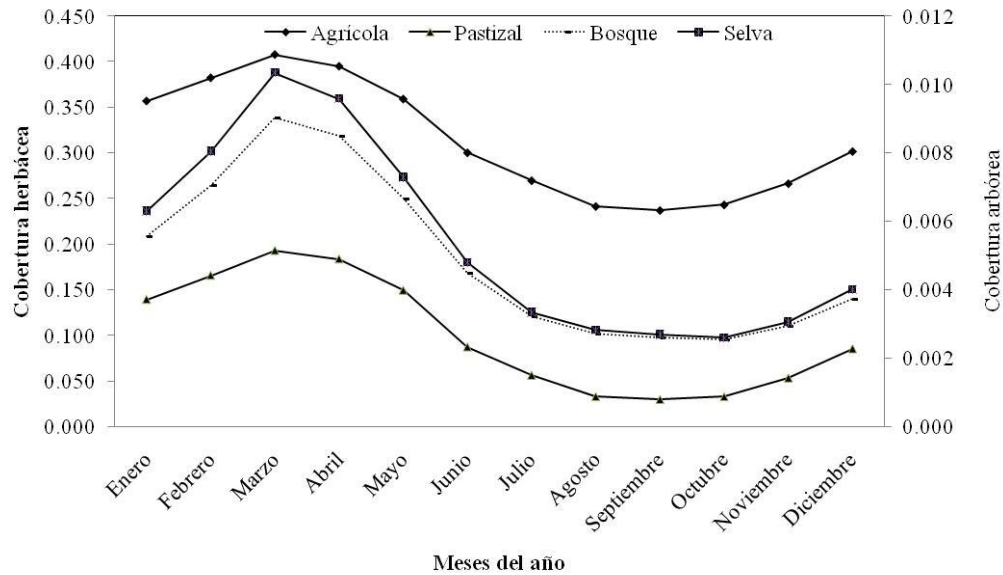


Figura 5. Factor C por tipo de cobertura vegetal.

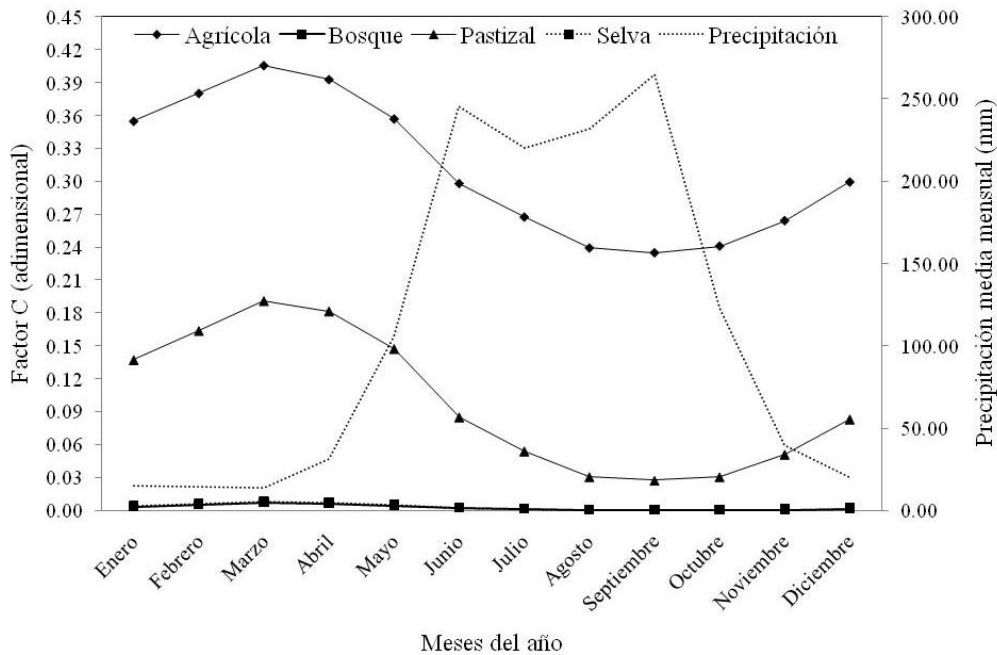


Figura 6. Distribución espacio-temporal del factor por cobertura vegetal C.

Erosión hídrica actual (EHA)

La Figura 7 muestra la distribución espacial de la erosión hídrica anual calculada en el área de estudio, los resultados indican que 73% de la cuenca presenta algún grado de erosión, el grado moderado tiene mayor incidencia (34%). Aproximadamente 9% (58 265 ha) presenta un grado de erosión muy alto. Estas predicciones son acordes a las obtenidas en la Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación (UACH-CONAFOR, 2013).

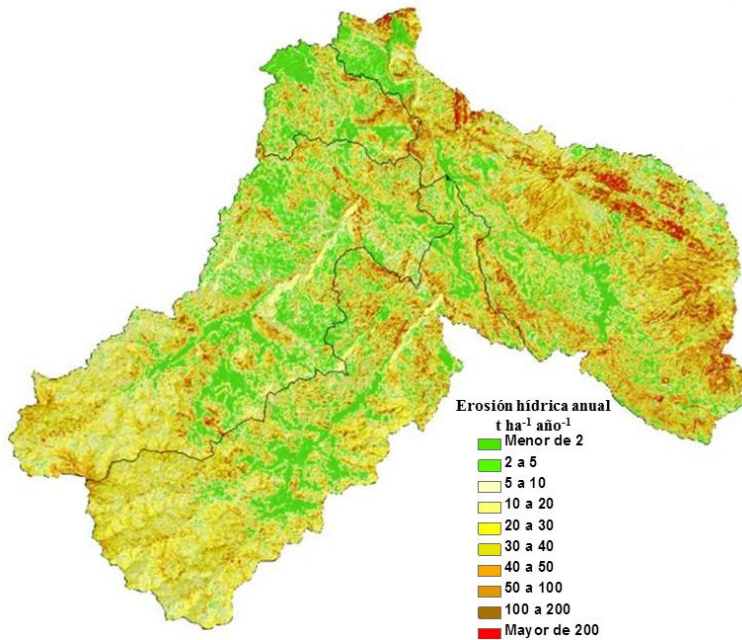


Figura 7. Distribución de la erosión hídrica actual en la Cuenca del Cañón del Sumidero.

Los valores a nivel mensual de erosividad de la lluvia y de cobertura vegetal, permiten observar una clara estacionalidad en cuanto a estos dos factores dependientes, puesto que, si bien la lluvia es el agente ‘agresivo’ en el proceso, también es el que permite el desarrollo de la cobertura vegetal, siendo este último el factor con mayor capacidad atenuante de la erosión. Los valores asignados dadas las características del suelo y la topografía, permanecieron constantes, dada la dificultad para que dichas condiciones cambien en el corto plazo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Erosión hídrica mensual en la Cuenca del Cañón del Sumidero.

Mes	EHA (t)	Valores por hectárea al año		
		EHA promedio	(m ⁻³)	(Cm)
Enero	131 002.614	0.196	0.15	0.002
Febrero	94 409.056	0.141	0.108	0.001
Marzo	187 090.203	0.279	0.215	0.002
Abril	831 494.091	1.241	0.955	0.01
Mayo	2 633 999.18	3.931	3.024	0.03
Junio	7 021 906.936	10.48	8.062	0.081
Julio	5 074 980.012	7.574	5.826	0.058
Agosto	4 661 919.286	6.958	5.352	0.054
Septiembre	5 012 810.799	7.482	5.755	0.058
Octubre	1 612 757.614	2.407	1.852	0.019
Noviembre	411 623.851	0.614	0.473	0.005
Diciembre	134 357.542	0.201	0.154	0.002
Total	27 808 351.184	41.504	31.926	0.319

El mes en el que la erosión hídrica es mayor es junio, en total se pierden 7 021 906.94 t, un promedio de $10.48 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ($5\,400\,369.26 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$). La EHA promedio, refleja la tasa media de degradación del suelo por erosión hídrica, cabe aclarar que dicho valor es diferente a lo que en diversas publicaciones se refiere a degradación específica, puesto que este concepto se aplica al considerar la producción de sedimentos por unidad de área. Asimismo, los valores medios de metros cúbicos, son la relación entre la EHA en toneladas por hectárea, transformados a metros cúbicos considerando una densidad aparente de 1.3 t m^{-3} .

El comportamiento de la EHA de junio respecto a mayo, a julio y septiembre, está dada por la cantidad de lluvia de cada mes, pero principalmente por el estado de la cubierta vegetal: de mayo a junio hay un incremento de alrededor de cinco millones de toneladas de suelo erosionado, situación que, en septiembre, con valores de lluvia similares a junio, por presentar una mayor cubierta vegetal, disminuye la erosión en aproximadamente dos millones de toneladas. Lo anterior, indica la importancia y la factibilidad de mejorar la cobertura vegetal del suelo, la cual representa disminuciones considerables de la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, respecto a las prácticas mecánicas encaminadas al control de la erosión hídrica.

La erosión promedio anual en la cuenca es de $41.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. De acuerdo con SEMARNAT y UACH, (2003) la Cuenca del Cañón del Sumidero, está perdiendo 9 veces más la tasa permisible para México. Comparando con la estimación de la erosión hídrica global ($75 \times 10^9 \text{ t año}^{-1}$; Pimentel *et al.*, 1995), se predice que la cuenca del Cañón del Sumidero contribuye en 0.04% de la erosión global.

Conclusiones

De los resultados del presente estudio se concluye que la RUSLE es un modelo eficaz para la evaluación tanto cuantitativa como cualitativa de la erosión del suelo para la gestión en la conservación de cuencas.

Con base en información disponible de topografía, suelos, uso del suelo y el análisis temporal de series de datos, así como técnicas de percepción remota y de sistemas de información geográfica, se ha desarrollado una metodología que permite estimar la erosión hídrica en laderas a nivel nacional.

En este estudio se empleó el modelo RUSLE, usando un base mensual promedio, el cálculo apropiado de la erosión y factores de cobertura para cada mes, para obtener el potencial erosivo de las precipitaciones y el escurrimiento en cada período de tiempo dado. El factor de inclinación de la pendiente se calcula de mejor manera mediante el uso de MDE de alta resolución.

Los SIG han proporcionado una plataforma muy útil para llevar a cabo la tarea de recopilación, procesamiento, despliegue y análisis de datos. Entre sus beneficios destacan la actualización de los datos, la gestión de datos y la presentación de los datos en la forma más adecuada de acuerdo a las necesidades del usuario. Parece evidente que el mantenimiento de una cubierta vegetal adecuada en las zonas críticas sería suficiente para minimizar e incluso eliminar los procesos erosivos relacionados con la erosión hídrica.

Literatura citada

- Cortés, T. H. G. B.; Figueroa, S. C. A.; Ortiz, S. y González, F. V. C. 1992. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. 1. Descripción de intensidades máximas e índices de erosividad de la lluvia. *Agrociencia*. 3(2):115-138.
- UACH-CONAFOR. 2013. Comisión Nacional Forestal y la Universidad Autónoma Chapingo. Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. 146-147 p.
- CP. 1991. Colegio de Postgraduados. Manual de conservación del suelo y del agua: instructivo. Tercera edición. CP. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 3-6 pp.
- Ganasri, B. and Ramesh, H. 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*. 7(6):953-961.
- Hickey, R.; Smith, A. and Jankowski, P. 1994. Slope length calculations from a DEM within Arc/Info GRID. *Computers, Environment, and Urban Systems*. 18(5):365-380.
- Hickey, R. 2000. Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*. 29(1):1-8.
- Hua, L.; Gallant, J.; Prusser, I. P. and Pristley, G. 2001. Prediction of sheet and rill erosion over the Australian Continent, incorporating monthly soil Loss distribution. CSIRO Land and Water, Technical Report. 30 p.
- INEGI. 1977. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Cartas edafológicas E15C77, E15C87, E15C68, E15C78, E15A18, E15C59, E15C69, E15C79, E15C89, E15D51, E15D61, E15D71, E15D62 y E15D72. Escala 1:50 000, 1ª. (Ed.) México, DF.
- INEGI. 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Continúo de elevaciones mexicano CEM (2.0).
- IMTA. 2006. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Extractor rápido de información climatológica ERIC III. CD ROM. México, DF.
- Mol, J. H. and Oubote, E. 2004. Downstream effects of erosion from small-scale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical rainforest stream. *Conservation Biol*. 18(1):201-214.
- Morgan, R. P. C. 1997. Erosión y conservación del suelo. Urbano, T. P. y Urbano, L. J. de M. de M. (Trad.). Mundi-Prensa. 343 p.
- Pacheco, H. 2012. El índice de erosión potencial en la vertiente norte del Waraira Repano, estado Vargas, Venezuela. *Cuadernos de Geografía. Rev. Colomb. Geog.* 21(2):2256-5442.
- Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurs, D.; McNair, M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R. and Blair, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*. 267(5201):1117-1123.
- Renard, K. G., Foster G. R., 1994. RUSLE revisited: status, questions, answers, and the future. *J. Soil Water Conserv.* 49(3):213-220.
- Renard, K. G.; Foster, G. R.; Weesies, G. A.; McCool, D. K. and Yoder, D. C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). USDA, agricultural research service, agriculture handbook. No. 703. US. Washington, District of Columbia, USA. 404 p.
- Rosewell, C. J. 1993. SOILOSS. A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion. Technical Handbook No. 11 2nd (Ed.). Soil Conservation Service of NSW, Sydney. 86 p.

- SEMARNAT-UACH. 2003. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Universidad Autónoma Chapingo. Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:000 000. 145 p.
- Van-Remortel, R. D.; Maichle, R. W. M. E. and Hickey, R. J. 2004. Computing the LS factor for the revised universal soil loss equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C. executable. *Computers Geosciences*. 30(9-10):1043-1053.
- Wishmeier, W. H.; Hohnson, C. B. and Cross, B. V. 1971. A soil probability monograph and farmland and construction sites. *Soil Water Conservation*. 26(5):189-193.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA. SEA. Agriculture Handbook 537. Washington, DC. 58 p.