



RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA Y ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO EN PAISAJES GEOMORFOLÓGICOS VOLCÁNICOS EN MÉXICO

Water erosion risk and soil loss estimation in volcanic geomorphological landscapes of Mexico

Oyolsi Nájera González, José I. Bojórquez Serrano ,
Fernando Flores Vilchez, Rafael M. Murray Núñez
y Areli González García-Sancho

ABSTRACT. This research work assesses erosion risk and soil loss in volcanic geomorphological landscape units from Mololoa river basin, Mexico, by applying the universal soil loss equation based on geographic information systems. Natural resources of this Nayarita territorial region have favored the economic development and establishment of this state capital; however, such relationship, lacking an environmental criterion planning, has caused their quick deterioration, mainly in soils, which in time can result in low levels of the territorial users' well-being. According to these results, 57,6 % geomorphological landscapes of the studied area show very high and high erosion risk, corresponding to "Sierras de San Juan" and "Volcan" units, volcanic hill slopes associated with "Sangangüey" volcano and "Tepeltitic" volcano slopes. In turn, 66 % of the studied territory present some level of water erosion; 13,7 % of the basin surface have significant soil losses by water erosion (very high and high); 16,6 % show a moderate soil loss whereas 35,7 % have lost less than 10 t ha⁻¹ year⁻¹.

RESUMEN. Se evalúa el riesgo de erosión y pérdida de suelo sobre unidades de paisaje geomorfológico de origen volcánico en la cuenca del río Mololoa, México, aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo, con el apoyo de sistemas de información geográfica. Los recursos naturales de esta parte del territorio nayarita han favorecido el desarrollo económico y el establecimiento de la capital de Estado; sin embargo, esta relación carente de una planeación que incorpore criterios ambientales, ha repercutido en un deterioro acelerado de los mismos, sobre todo a los suelos, que en el tiempo, puede traducirse en bajos niveles de bienestar de los usuarios del territorio. Los resultados muestran que 57,6 % de los paisajes geomorfológicos del área en estudio presentan riesgo de erosión muy alto y alto, que corresponden a las unidades "Sierras de San Juan" y "Volcán", laderas de sierra volcánica, asociadas al volcán "Sangangüey" y laderas del volcán "Tepeltitic". Por su parte, el 66 % del territorio en estudio presenta algún nivel de afectación por erosión hídrica; el 13,7 % de la superficie de la cuenca presenta significativos problemas de pérdida de suelo por erosión hídrica (muy alta y alta); el 16,6 % presenta una pérdida de suelo moderada y el 35,7 % presenta pérdidas menores a 10 t ha⁻¹año⁻¹.

Key words: universal soil loss equation, geographic information system, water basins river, Nayarit

Palabras clave: ecuación universal pérdida de suelo, sistema de información geográfica, cuencas hidrográficas, río, Nayarit

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es el problema más significativo de degradación del suelo en el mundo, que provoca serios impactos ambientales y altos costos económicos,

a través de sus efectos sobre la producción agrícola, la infraestructura y la calidad del agua que, a su vez, afectan la calidad de la población, llegando a amenazar la seguridad alimentaria y representar un serio problema para el desarrollo sustentable (1, 2, 3, 4, 5, 6); además, está asociado a la emisión de carbono orgánico del suelo a la atmósfera en forma de CO₂ y, con ello, al calentamiento global (7).

Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura "Amado Nervo", Tepic, Nayarit, México, C.P. 63190.

✉ iranbojorquez@hotmail.com

Esta forma de degradación ha cobrado interés mundial (8, 9) y se ha documentado por diversos estudios enfocados a la evaluación, el análisis de riesgo, el mapeo y el monitoreo a diferentes escalas; la modelación y construcción de escenarios de erosión (8, 10, 11). Estos trabajos se han llevado a cabo simultáneamente con desarrollo y aplicación de diversos modelos, tales como USLE (12), EPIC (13), WEPP (14), SWAT (15), RUSLE (16) por mencionar algunos. Sin embargo, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) o alguna de sus modificaciones o revisiones (RUSLE/MUSLE) son el modelo más difundido en evaluaciones de pérdida de suelo por erosión hídrica (17, 18) y pese a que se considera un modelo que sobrestima fuertemente sus evaluaciones (8), es uno de los modelos más aplicados en algunos países europeos (19).

Paralelamente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han demostrado ser una herramienta útil en las estimaciones, ya que permite almacenar, procesar, manipular y visualizar bases de datos espaciales, representando así, una buena alternativa de apoyo en la planificación y gestión de los recursos naturales, que ayuda a los usuarios a mejorar los procesos de toma de decisiones (20, 21).

La erosión del suelo es un proceso natural generalmente lento; sin embargo, actualmente se ha vuelto un problema de deterioro, debido a la aceleración provocada por el hombre, estimando que a lo largo de la historia ha afectado cerca de 2000 millones de hectáreas de tierras en el mundo (22, 23); en los últimos 40 años, cerca de un tercio de las tierras arables del mundo se han perdido por este fenómeno y continúa perdiéndose a tasas mayores de 10 millones de hectáreas por año. Al respecto, se estima que el 80 % de la superficie del planeta presenta este fenómeno (11) y aproximadamente el 66 % de las tierras cultivables se encuentran degradadas por erosión hídrica (24); casos particulares han estimado tasas de pérdida de suelo del orden de las 17 t ha⁻¹ año⁻¹ para USA; de 30 a 40 t ha⁻¹ año⁻¹ para Asia, África y Sudamérica, principalmente por prácticas agrícolas inapropiadas (25); 5,5 t ha⁻¹ año⁻¹ en tierra arables de Alemania (23) y tasas por encima de 50 t ha⁻¹ año⁻¹ para España (9), situación que ha llegado al abandono de tierras agrícolas a lo largo de Europa (26).

En México se estima que el 80 % del territorio está aquejado por este proceso (22), fuentes oficiales reportan que 22,73 millones de hectáreas del país presentan erosión hídrica; de estas 56,4 % se considera ligera; el 39 % moderada, el 3,7 % fuerte y el 0,2 % extrema (27).

A nivel local, las estimaciones sobre erosión hídrica para Nayarit parecen no ser consistentes, algunas de ellas reportan que más del 60 % de la región agrícola del Estado presenta condiciones ligeras y moderadas de erosión hídrica y el 30 % del

área restante presenta suelos erosionados a niveles altos y muy altos (28); mientras que, datos oficiales reportan que el 18 % del territorio estatal está afectado por este problema (27). Este último dato representa una tasa de aproximadamente, 25000 ha afectadas por año y de mantenerse este ritmo de deterioro, prácticamente en 40 años el territorio, en su totalidad, presentará algún nivel de afectación por erosión hídrica.

Pese la gravedad del problema, son escasos los reportes publicados a mayor detalle, condición que se considera esencial para el desarrollo de una efectiva planeación en el manejo de la tierra y las actividades agrícolas (1).

Los paisajes volcánicos representan unidades geomorfológicas apropiadas e importantes para el estudio de la erosión hídrica a nivel de cuenca (3). A partir de su delineación y representación espacial, así como de la descripción de su génesis, relieve y dinámica actual, es posible establecer su condición de fragilidad ambiental; de esta forma su estudio tiene relevancia y valor práctico y ecológico para diferentes disciplinas. Desde el punto de vista práctico, ofrece la oportunidad de evaluar el territorio o paisaje en un marco geográfico que sirve de soporte en la planeación sectorial agrícola, ganadera y forestal, con el fin de evitar la disminución de las tasas de producción de los cultivos, proponiendo modificaciones en el uso del suelo y estrategias de manejo sustentables (7, 29); desde el punto de vista ecológico, ofrece la oportunidad de mantener la funcionalidad del ecosistema, particularmente del suelo (3).

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el riesgo de erosión hídrica y la pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos, teniendo como caso la cuenca hidrológica del río Mololoa, en Nayarit, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del río Mololoa se localiza en la parte central del estado de Nayarit (Figura 1), entre las coordenadas geográficas 21°43'26" Latitud Norte, 104°56'46" Longitud Oeste y 21°16'12" Latitud Norte, 104°43'06" Longitud Oeste. Abarca 618 km² y forma parte del sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago. Esta región de apenas 2 % del territorio estatal, ha proveído de un conjunto de bienes y servicios a los habitantes de las 34 localidades que en ella se asientan; desafortunadamente, esta relación, carente de una planeación que incorpore criterios ambientales, ha repercutido en un deterioro acelerado de sus recursos naturales, tales como disminución de superficie de bosques y del humedal, alteraciones en la cantidad y calidad de agua, calidad de aire, suelos y posibles implicaciones climáticas, que en el tiempo, se han traducido en bajos niveles de bienestar de los usuarios del territorio.

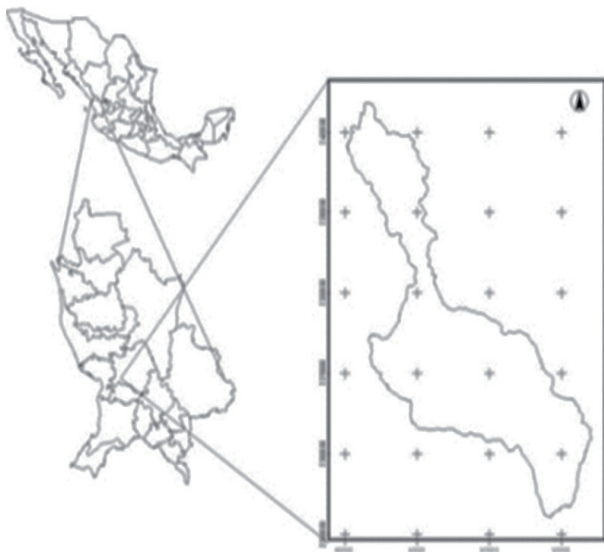


Figura 1. Área en estudio

Se presenta en forma de valle alto entre las estructuras del San Juan (2240 m s. n. m.) por el oeste y el Sangangüey (2180 m s. n. m.) por el este, y va hacia la parte baja en las márgenes del río a una altura entre 920 y 900 m s. n. m. Tanto San Juan como Sangangüey son formaciones volcánicas antiguas,

cuyas actividades ya cesaron, el primero en el periodo terciario, mientras que el segundo estuvo activo aún en el cuaternario. Presenta una temperatura media anual entre 21 y 22 °C en la mayor parte del territorio, aunque presenta condiciones más cálidas (24-26 °C) hacia la parte baja. La precipitación media anual es de 1000-1200 mm, aunque en algunas pequeñas zonas llega hasta 1500 mm. La formación de suelos entre las dos vertientes del río son diferentes, tanto por el material de origen (de carácter ácido en la parte del San Juan y básico y ultrabásico en la parte del Sangangüey) como por su edad (terciario y cuaternario, respectivamente).

Los paisajes geomorfológicos se obtuvieron aplicando el enfoque fisiográfico (30), basado en la descripción de unidades del relieve en función de su génesis y procesos modeladores actuales, además de identificar los procesos y tipos de suelos formados en cada unidad descrita. Las unidades definidas en este trabajo se agruparon en tres niveles jerárquicos (Figura 2), a partir de la fotointerpretación y análisis del relieve de ortofotos digitales distribuidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Por otra parte, se utilizaron los datos de perfiles de suelos (31), que fueron asociados en el SIG, a las unidades del relieve, para identificar los tipos de suelos predominantes en cada unidad.

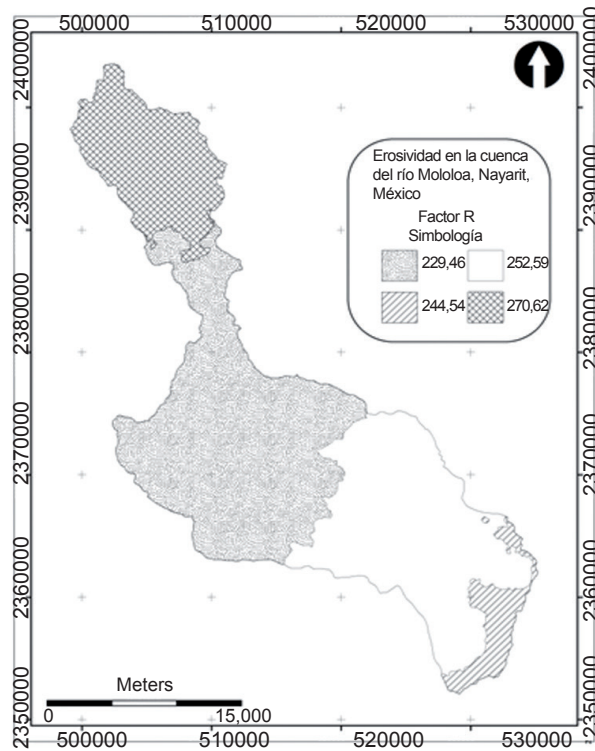


Figura 2. Erosividad (Factor R) en la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Los suelos se clasificaron según la World Reference Base (32) y el cálculo de riesgo y pérdida de suelo se realizó a nivel de paisaje geomorfológico aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (12); modelo matemático, empírico-paramétrico de evaluación indirecta de la pérdida de suelo por procesos hídricos, desarrollado por Wischmeier y Smith en la Universidad de Purdue en Estados Unidos, que por su fidelidad y relativa aplicabilidad universal (33), sigue siendo hoy día, el modelo de mayor aplicación (34, 35).

$$A=R*K*LS*C*P$$

donde:

A (pérdida de suelo, t ha año)

R (erosividad de la lluvia, mm)

K (erodabilidad del suelo, que expresa la tasa de pérdida de suelos por unidad *EI* para un suelo específico)

LS (expresa la relación entre longitud y gradiente de la pendiente)

C (cobertura del suelo)

P (prácticas de manejo); estas tres últimas son adimensionales

Para la estimación de la erosividad por lluvia (R), se utilizaron los datos de precipitación (mensual y anual) de tres estaciones climatológicas administradas por la Comisión Nacional del Agua y localizadas dentro de la zona en estudio; se delimitó el área de influencia de cada una de ellas con el método de polígonos de Thiessen (36) y se calculó el índice de erosividad por lluvia a partir del índice modificado de Fournier, en el que se considera no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses.

$$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

donde:

i (número del mes)

p (precipitación mensual en mm)

P (precipitación promedio anual en mm)

La erodabilidad (K) se estimó a partir de los datos de los Grupos Referenciales de Suelos (GRS) presentes en cada paisaje geomorfológico reportado para la zona (31), aplicados al nomograma de erosividad (37). El factor LS (topográfico) se obtuvo por el cálculo de la pendiente promedio en cada unidad de paisaje geomorfológico, estimada a partir del modelo digital de elevación construido con información vectorial (curvas de nivel) generada por el INEGI y con el apoyo de herramientas SIG.

Para el Factor C (cobertura) se utilizaron los resultados del levantamiento de cobertura del terreno y uso del suelo reportados para el área en estudio (38), calculando el porcentaje de cobertura en cada paisaje

geomorfológico. El Factor P (prácticas de manejo) se determinó para cada unidad que presentó uso del suelo agrícola (12). En las áreas con vegetación forestal y de matorral, se utilizó un valor de P igual a 1.

Finalmente, en ambiente SIG (Arc View 3.2), se realizó la sobreposición de las diferentes capas (geomorfología, erosividad, erodabilidad, pendiente, cobertura y manejo) para estimar el riesgo de erosión y pérdida de suelo. Los diferentes mapas utilizados y los resultantes están a escala 1:25000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Paisajes geomorfológicos. En la zona en estudio se identificaron cinco ambientes denudativos y uno acumulativo, con un total de 15 paisajes geomorfológicos y 36 tipos de relieve (Tabla I). En general, los paisajes denudativos están representados por escudos volcánicos con calderas de explosión (Tepic y Tepeltitlic), sierras volcánicas y estratovolcanes (San Juan y Sangangüey), lomeríos asociados a las estructuras volcánicas y superficies de lomeríos con pequeños valles en la parte baja de la cuenca del río Mololoa; mientras que, los paisajes acumulativos corresponden al "valle Matatipac" integrado por piedemontes asociados a las estructuras volcánicas y las planicies aluviales de La Labor, Xalisco y Tepic.

En general, los Grupos Referenciales de Suelos más frecuentes son Cambisoles (CM), Andosoles (AN), Regosoles (RG), Luvisoles (LV), Acrisoles (AC), Leptosoles (LP), Feozems (PH), Umbrisoles (UM) y Gleysoles (GL); estos últimos ocupando partes depresionales dentro de los paisajes geomorfológicos.

Los resultados de los diferentes factores de la EUPS para cada uno de los paisajes geomorfológicos se presentan a continuación:

Erosividad (R). El valor promedio de erosividad, calculado para el área en estudio, fue de 249,3 mm, estimando con ello que se trata de una erosividad moderada (39), este valor es menor al reportado para Nayarit (283 mm); no obstante, los registros anuales reportados en las estaciones climatológicas son superiores a 1,000 mm (40). Puede observarse que los valores de erosividad más altos se presentan al sur de la cuenca, mientras que el centro presenta los más bajos (Figura 2).

Erodabilidad (K). Para la erodabilidad se tomó en cuenta aquellas propiedades del suelo que más inciden en su susceptibilidad a la erosión. De esta forma, para los GRS se tuvo en cuenta la textura de la parte superior del suelo, el contenido de materia orgánica y la profundidad del suelo. Estas propiedades le confieren diferentes niveles de susceptibilidad a la acción de la lluvia, lo que permitió agruparlos en cinco niveles (Tabla II).

Tabla I. Leyenda geomorfo-edafológica de la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Ambiente morfo-genético	Paisaje geomorfológico	Tipo de relieve	Asociación de suelos		
Ambiente denudativo	Escudo volcánico con calderas	Laderas de explosión de la caldera de Tepeltitic	Colada de lava de Tepeltitic Conos de escoria asociados al Tepeltitic Laderas asociadas a la caldera de Tepeltitic	LV-CM-RG LV LV-CM	
		Laderas de explosión de la caldera de Tepeltitic	Laderas de explosión de la caldera de Tepeltitic	LP-UM-LV	
	Lomeríos	Lomeríos asociados a SAMAO con brecha volcánica	Lomeríos asociados a SAMAO con brecha volcánica	LV-RG-PH	
		Lomeríos asociados al San Juan	Lomeríos asociados al San Juan	AN-RG-LV-UM	
		Lomeríos asociados al Sangangüey con piroclastos	Lomeríos asociados al Sangangüey con piroclastos	LV-UM-GL	
	Sierras volcánicas con estratovolcánes	Lomeríos medio altos cubiertos de toba ácida	Lomeríos medio altos cubiertos de toba ácida	LV-RG-PH	
			Edificio volcánico Sangangüey	Colada de lava cubierta por piroclastos Conos de escoria asociados al Sangangüey Cráter con laderas interiores Laderas asociadas al cráter principal	LV-UM-LP-PH-GL LV-PH-UM-LP-GL LP-LV LP-CM-LV
		Sierras volcánicas de laderas escarpadas volcán San Juan	Complejo asociado al volcán Cerro Alto	Complejo asociado al volcán Cerro Alto	RG-CM-AN
			Complejos volcánicos asociados al San Juan	Colada de basalto cubierta con toba Sierra de San Juan Volcán Coatepec Volcán El Tacote Volcán y colada de lava La Huerta	CM-AC AN-RG-CM AN AN-RG-CM AN-RG
	Ambiente acumulativo	Relieves agrupados al volcán Pre-San Juan	Relieves agrupados al volcán Pre-San Juan	RG-AN-CM	
Volcán San Juan			Conos de escoria y lavas septentrionales Domo y flujo de lava Estructura central y lavas asociadas	RG-CM CM-RG RG-CM-AN	
Superficie de lomeríos (laderas de la cuenca baja)		Sierras volcánicas	Laderas de montaña y lomeríos	LV-CM-AC-LP	
			Valles con lomeríos	Valle aluvial con desembocadura al río Santiago Valle con lomeríos bajos Valle con lomeríos intermedios	AC-CM-UM AC-CM-UM-LV-FL AC-LV-CM-UM-NT-FL
		Llanura aluvial	Piedemonte	Piedemonte asociado al San Juan	AN-RG-LV
Piedemonte asociado al Sangangüey				UM-LV	
Piedemonte coluvio-aluvial asociado al Sangangüey				LV-CM-UM	
Planicies			Piedemonte asociado a la caldera de Tepic	LV-LP-UM	
			Piedemonte coluvio-aluvial asociado al San Juan	AN-RG	
Planicies de inundación estacional		Planicies de inundación ordinaria parcialmente rellenada	Planicies de inundación estacional	GL-LV-UM	
	Planicies de inundación ordinaria		LV-UM-CM		
	Planicies del Valle de La Labor	Planicies del Valle de La Labor	LV-GL-LP-PH-RG		
		Planicies del Valle Matatipac	UM-LV-GL		
		Planicies denudativas	LV-UM-GL-RG		

Tabla II. Niveles de erodabilidad en los suelos de la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Clases de erodabilidad	Rangos de erodabilidad	Principales propiedades de los suelos
Muy alta	> 0,04	Suelos de textura arenosa o franco arenosa, poco profundos y con bajo contenido en materia orgánica
Alta	0,03–0,033	Suelos de textura franco arenosa, mediano a poco profundos y bajo contenido en materia orgánica
Media	0,02–0,026	Suelos de textura franco arenosa o franca, medianamente profundos y contenido medio en materia orgánica
Baja	0,001–0,009	Suelos de textura franca o franco arcillosa, medianamente profundos y contenido medio a alto en materia orgánica
Muy baja	0,009-0	Suelos de textura franca o franco arcillosa, profundos y contenido alto en materia orgánica

La mayor parte de la superficie de la cuenca presenta asociaciones de suelos con erodabilidad baja (12719 ha), desarrollados sobre lomeríos y piedemonte del San Juan y Sangangüey; colada de lava de Tepeltitc y algunos conos de escoria y planicies del valle de Matatipac. Bien representadas por su extensión superficial (4884 ha) están las unidades de Cambisol en algunas coladas y piedemonte del Sangangüey. Los Luvisol gléyico y háplico se reportan en las coladas cubiertas por toba, relieves agrupados del pre San Juan, así como piedemonte de la Caldera de Tepic, cubriendo 2459 ha. Asociaciones de Acrisol-Luvisol se reportan en zonas de baja pendiente, como las planicies del valle de Matatipac y pequeñas zonas del piedemonte del Sangangüey que cubren cerca de 2861 ha.

Las planicies de inundación estacional presentan asociaciones de Gleysol vértico y éutrico (2,301 ha). Las unidades de lomeríos cubiertos por piroclastos y toba ácida, así como algunas planicies denudativas, presentan asociaciones de Acrisol-Regosol, distribuidas en aproximadamente 2022 ha. Los resultados de erodabilidad del suelo, obtenidos para la zona en estudio son coincidentes con los reportados para Nayarit, 72 % del territorio presenta erodabilidad moderada, 25 % ligera y 3 % alta (40).

Longitud y valor de la pendiente (LS). Los resultados en los diferentes tipos de relieve del área en estudio se agruparon en cinco categorías (Tabla III), en orden de magnitud y atendiendo a su extensión superficial, puede observarse que la mayor parte de la cuenca presenta una condición suave, estas áreas están representadas por las laderas de explosión de la caldera de Tepic, lomeríos con brecha volcánica asociados a SAMAO y cubiertas por piroclastos asociados al Sangangüey, así como lomeríos cubiertos por toba ácida, el piedemonte del San Juan

y las planicies del valle de La Labor y de Matatipac. Condiciones de pendiente muy fuerte se presentan en las estructuras volcánicas (complejos, edificios y volcán) del San Juan y Sangangüey, así como en las sierras volcánicas (parte baja de la cuenca). También ligadas a estas unidades y extendiéndose a las laderas de explosión de Tepeltitc, piedemonte del Sangangüey y relieves agrupados del pre-San Juan se presentan condiciones moderadas y fuertes de este factor. Las condiciones de pendiente muy suave se asocian a aquellas unidades acumulativas, representadas por planicies del valle de Matatipac, valles con lomeríos y piedemonte del Sangangüey.

Cobertura del suelo (C). Las coberturas del suelo toman el valor de 0,80 como parámetro para áreas agrícolas de temporal (9). En este sentido, un suelo sin vegetación presenta mayor riesgo de erosión; los suelos agrícolas suelen ser más susceptibles, debido a la influencia del factor humano, en cuanto al manejo al que están sujetos; mientras que los bosques y selvas tienen menor susceptibilidad (0,50 %) por la protección que representan ante el efecto cinético de la lluvia.

Para el área en estudio este factor se resume en la Tabla IV, donde se aprecia que el 44 % de la cuenca presenta una condición de alta susceptibilidad a la erosión, seguida de una condición baja (37,9 %); la primera está asociada con los tipos de cobertura de tierras de cultivo, sean perennes o anuales, principalmente las áreas dedicadas al cultivo de caña y las diferentes asociaciones donde esta predomina. En contraparte, la condición de baja susceptibilidad a la erosión se asocia a los tipos de cobertura de la vegetación natural; es decir, los bosques de encino, pino y mixtos, así como las asociaciones de estos con otras coberturas; las unidades de selva mediana y las asociaciones secundarias; lo anterior conduce a reconocer el importante papel de la vegetación como factor mitigante de la erosión hídrica (41).

Tabla III. Clases y rangos de LS de la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Clase LS	Rango LS (%)	Superficie (ha)	Porcentaje (respecto al total)
Muy suave	0–11	2027,68	3,55
Suave	11–24	25797,62	45,29
Moderada	24–42	8191,45	14,38
Fuerte	42–118	4174,34	6,96
Muy fuerte	118–339	13101,67	23,00

Tabla IV. Cobertura del suelo (Factor C) en la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Clases de C	Valor de C	Superficie (ha)	%	Tipos de coberturas asociadas
Bajo	0,50	21610,9	37,9	Tipos de cobertura del Gran grupo: vegetación natural y secundaria
Moderado	0,65	9902,9	17,4	Pastizales y asociaciones de este tipo de cobertura; tipos de cobertura del Gran grupo de construcciones: rurales y urbanas
Alto	0,80	25097,5	44,0	Tipos de coberturas ligadas al Gran grupo: tierras de cultivo: anuales y perennes
Muy alto	1,00	189,7	0,33	Tipos de coberturas ligadas al Gran grupo de tierras desnudas: minas de materiales pétreos

Prácticas de manejo (P). Para este factor se calificaron las coberturas en cinco clases, atendiendo a la eficiencia contra la pérdida de suelo, donde los valores cercanos a la unidad representan coberturas o prácticas con baja eficiencia (Tabla V).

Para el área en estudio las unidades con los valores más bajos de eficiencia (1, 0,9-0,95) corresponden a unidades identificadas como minas de materiales pétreos, que cubren una superficie de 189,69 ha; los cultivos anuales, prácticamente representados por el cultivo de la caña y los terrenos sembrados con agave, los cuales representan el 43,5 % (24779,55 ha) de la superficie total en estudio. Los bosques de encino y pino, las selvas, los pastizales, las asociaciones secundarias y las plantaciones perennes (aguacate principalmente) que representan el 45,9 % del total en estudio, fueron calificados con una eficiencia alta (0,1 y 0,02), dado que representan las coberturas que, sin ser prácticas de control en sí, ofrecen una mayor eficiencia contra el proceso de erosión.

El 10 % de la cuenca fue calificada con eficiencia muy alta, a estas unidades corresponden las coberturas asociadas a construcciones, las que representan una transformación total de los elementos naturales, sustituyéndola por estructuras artificiales a base de concreto y ladrillo, representan una cubierta impermeable al suelo.

Riesgo de erosión (RE). El riesgo de erosión resulta de la combinación de capas de los factores climáticos (erosividad), edáficos (erodabilidad) y topográficos (longitud y pendiente), con el apoyo de herramientas SIG; por su parte, los niveles de riesgo fueron ajustados a partir del diagnóstico (42), como se presenta en el Tabla VI y la Figura 3.

Los resultados muestran que el 65,8 % de la superficie de la cuenca corresponde al paisaje denudativo. De este, 17761,4 ha (31,1 % respecto

al total en estudio) presentan riesgo de erosión muy alto; las unidades geomorfológicas que presentan esta condición son Sierras de San Juan, elementos asociados al volcán Sangangüey y laderas del volcán Tepeltitic. El 26,5 % de la cuenca (15095 ha) presenta una condición alta de riesgo de erosión. Las unidades geomorfológicas asociadas a esta condición son las laderas lomeríos y laderas asociadas al volcán Sangangüey y Tepeltitic, así como los piedemonte y relieves del San Juan.

En estas unidades los GRS más difundidos son Andosoles, Cambisoles y Regosoles. Los Andosoles a pesar de que pueden tener un buen contenido en materia orgánica, son muy susceptibles a la erosión, ya que la estabilidad estructural de los agregados es débil y, además, la textura es franco arenosa a arenosa; por su parte los Cambisoles y Regosoles tienen poca profundidad, son bajos en materia orgánica y presentan textura franco arenosa. Por lo general son suelos bien drenados pero muy susceptibles a la erosión, por lo que deben mantenerse bajo cobertura permanente, sobre todo el caso de los Andosoles que resultan suelos con buena fertilidad (22).

Condiciones de riesgo de erosión moderada se encontraron en 4704,3 ha (8,25 %) en la parte alta (lomeríos medios altos cubiertos por toba ácida); media (valles con lomeríos, piedemonte asociada a la caldera de Tepic) y baja (valles con lomeríos intermedios) de la cuenca.

Pérdida de suelo (PS). El cálculo de la pérdida de suelo resulta de combinar en el SIG las capas de factores climáticos, edáficos, topográficos, biológicos y antrópicos que caracterizan a la cuenca del río Mololoa; los resultados se clasifican siguiendo los criterios aplicados a riesgo de erosión, como se resume en la Tabla VII y se representan en la Figura 4.

Tabla V. Factor P (prácticas de manejo) en la cuenca del río Mololoa

Categorías	Rangos	Superficie (ha)	%	Descripción
Muy bajo	1	189,69	0,33	Minas de materiales pétreos
Bajo	0,9-0,95	24779,55	43,50	Cultivos de caña y agave
Moderado	0,5	76,20	0,13	Cultivo de frutales
Alto	0,1-0,002	26185,71	45,97	Bosque de encino, pino, mixto, pastizal, asociaciones secundarias, cultivo de aguacate
Muy alto	0	5728,79	10,05	Construcciones rurales, urbanas y de servicios

Tabla VI. Riesgo de erosión en la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Clases riesgo de erosión	Rangos riesgo de erosión (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Superficie (ha)	%	Paisajes geomorfológicos
Muy alta	200 <	17761,4	31,1	Complejos asociados al volcán cerro Alto, Domo y flujo de lava
Alta	50-200	15095,0	26,5	Estructura central y lava; Sierra de San Juan, volcán Tacote, Coatepe y La Huerta; Lomeríos cubiertos por piroclastos; Piedemonte coluvio-aluvial asociado al San Juan y al Sangangüey; Valle con lomeríos, intermedios y bajos
Moderada	10-50	4704,3	8,25	Planicies de inundación ordinaria, estacional y denudativas; Laderas de explosión de la caldera de Tepic
Ligera	< 10	0,5	0	Planicies de La Labor

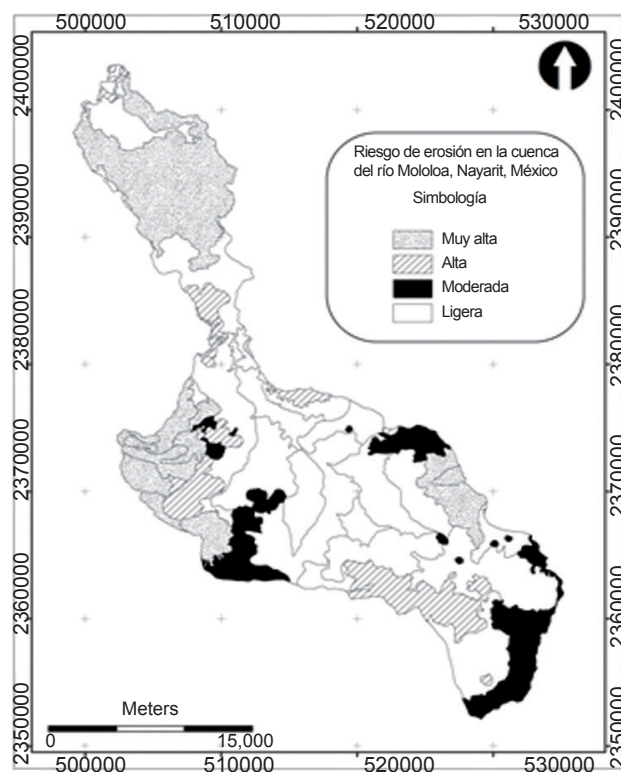


Figura 3. Riesgo de erosión de suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Tabla VII. Pérdida de suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Clases pérdida de suelo	Rangos pérdida de suelo ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$)	Superficie (ha)	%
Muy alta	200 <	1305,05	2,3
Alta	50-200	6465,3	11,4
Moderada	10-50	9444,9	16,6
Ligera	< 10	20346,2	35,7

El 13,7 % de la superficie de la cuenca presenta significativos problemas de pérdida de suelo por erosión hídrica (alta y muy alta), localizados en los lomeríos, complejos volcánicos del San Juan y relieves agrupados al Pre-San Juan; el piedemonte de la caldera de Tepic y en Lomeríos y coladas del Sangangüey y Tepeltitic.

En el 16,6 % de la superficie de la cuenca se presentan cada año pérdidas de suelo moderada; estas superficies se localizan en los volcanes San Juan y Cerro Alto, el complejo volcánico asociado al San Juan, los lomeríos y edificio volcánico del Sangangüey, algunas superficies de valles con lomeríos intermedios de la parte media de la cuenca y las laderas de montaña con lomeríos de la cuenca baja. El resto de la superficie de la cuenca, es decir, 20346,2 ha (35,7 %) presentan pérdidas de suelo menores a $10\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$.

En general, los resultados muestran que el 66 % del territorio en estudio presenta algún nivel de afectación por erosión hídrica; este total está por debajo de las estimaciones reportadas para el territorio nacional (22) y por encima de las estimaciones

estatales de SEMARNAT en el 2012 (27), quienes reportan el 80 % del territorio nacional aquejado por este proceso y el 18 % del territorio estatal afectado por erosión hídrica. A nivel de cuenca, están por encima de los resultados reportados para la zona II de la cuenca de Burgos en Tamaulipas (43) y parecen ser similares a los reportados para la microcuenca de la presa Madín en el estado de México (10).

Resulta evidente la función de la cobertura (natural o inducida) y de las prácticas de manejo (factores C y P de la EUPS) sobre la pérdida de suelo; las superficies que presentaron condiciones altas y muy altas de riesgo de erosión, disminuyeron hasta el 42 % su superficie (Tabla VIII).

Al respecto, algunos autores consideran que las causas, extensión e intensidad de la erosión hídrica son influenciadas por diversos factores y que uno de los más significativos es la cubierta vegetal; este papel protector suele ser altamente determinante, de modo que el aumento de cubierta vegetal condiciona una disminución exponencial de la tasa de erosión (11).

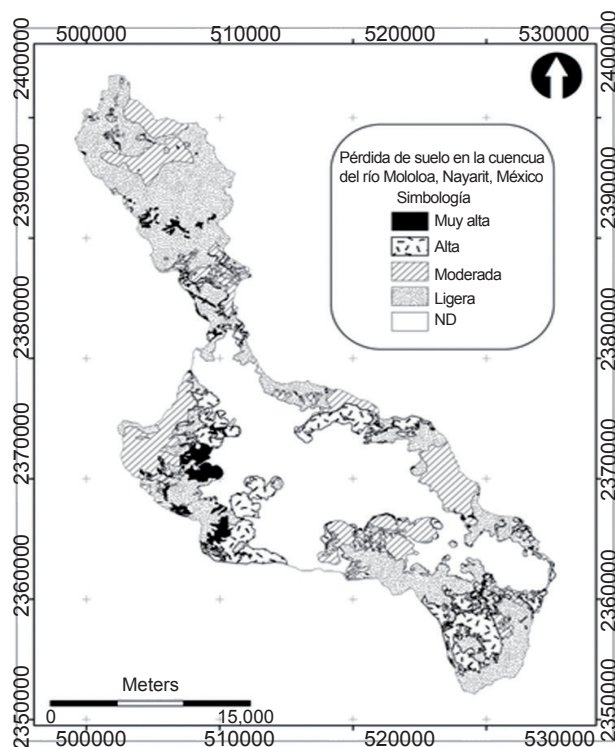


Figura 4. Riesgo de pérdida de suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit

Tabla VIII. Efecto de los factores C y P de la EUPS, sobre el riesgo de erosión

Clases	Riesgo de erosión RE*	Pérdida de suelo PS*	Efecto del factor C y P**
Alta	15095,0	6465,3	8629,7 (42 %)
Muy alta	17761,4	1305,0	16456,3 (7 %)

* Superficie en ha; ** diferencia de ha entre RE y PS

La cobertura vegetal y el uso del suelo son las características más importantes y que mejor explican la erosión del suelo, incluso sobrepasando la influencia que ejerce la intensidad de precipitación y el gradiente de pendiente (40). Los cambios de cobertura y uso del suelo (sustitución de bosques por áreas de cultivo), han conducido a drásticos incrementos en la erosión del suelo, con resultados que pueden llegar al desarrollo de cárcavas, incrementos en la carga de sedimentos en ríos, contribuir a la formación de nuevas estructuras sedimentarias como terrazas fluviales y deltas (40).

CONCLUSIONES

◆ El 57,6 % de la superficie en estudio presenta riesgo de erosión por encima de las $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (erosión potencial considerada alta y muy alta); los paisajes geomorfológicos que presentan esta condición son Sierras de San Juan, Volcán, laderas de Sierra volcánica, elementos asociados al volcán Sangangüey y laderas del volcán Tepeltitic; las laderas lomeríos y laderas asociadas al volcán Sangangüey y Tepeltitic, así como los piedemonte y relieves del San Juan. Los grupos

referenciales de suelos predominantes en estas unidades son Acrisoles, Andosoles, Regosoles, Cambisoles y Feozem.

- ◆ El 30,3 % del área presenta pérdida de suelo por encima de las $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con niveles que van de muy alta a moderada. Los lomeríos, complejos volcánicos del San Juan y relieves agrupados al Pre-San Juan; el piedemonte de la caldera de Tepic y los Lomeríos y coladas del Sangangüey y Tepeltitic, presentan los niveles más significativos de pérdida de suelo (muy alta y alta).
- ◆ Los volcanes San Juan y Cerro Alto, el complejo volcánico asociado al San Juan, los lomeríos y edificio volcánico del Sangangüey, algunas superficies de valles con lomeríos intermedios de la parte media de la cuenca y las laderas de montaña con lomeríos de la cuenca baja (16,6 % de la superficie en estudio), presentaron una condición moderada.
- ◆ El papel de la cobertura natural (bosques, selvas, pastizales) del terreno y de aquella inducida por el hombre (cultivos) es determinante en el control de la erosión hídrica. Lo anterior hace necesario, por un lado, la reducción de la deforestación y la degradación forestal (cambio de uso de suelo)

y promover la conservación y el aumento de las reservas forestales, a través de áreas naturales protegidas y programas de reforestación; y por otro, fomentar, mantener y mejorar buenas prácticas agrícolas y evitar aquellas que favorecen la degradación del suelo, particularmente cultivos como la caña en laderas con alta pendiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Zhang, Q.; Wang, L. y Wu, F. "GIS-Based Assessment of Soil Erosion at Nihe Gou Catchment". *Agricultural Sciences in China*, vol. 7, no. 6, junio de 2008, pp. 746-753, ISSN 1671-2927, DOI 10.1016/S1671-2927(08)60110-8.
- Mejia, J.; Dal Pozzo, F.; Montilla, P. y Torres, G. "Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, estado Mérida-Venezuela". *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 51, no. 2, 2010, pp. 203-223, ISSN 1012-1617, 2244-8853.
- Maya, Y. "Diagnóstico ambiental de suelos erosionados". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 13, no. 2, 2011, pp. 169-179, ISSN 1870-0462.
- Telles, T. S.; Guimarães, M. de F. y Dechen, S. C. F. "The costs of soil erosion". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, no. 2, abril de 2011, pp. 287-298, ISSN 0100-0683, DOI 10.1590/S0100-06832011000200001.
- Sadiki, A.; Mesrar, H.; Faleh, A. y Chaaouan, J. "Modélisation et cartographie des risques de l'érosion hydrique : cas du Bassin versant de l'oued Larbaa, Maroc". *Papeles de geografía*, no. 55, 2012, pp. 179-188, ISSN 1989-4627.
- Pimentel, D. y Burgess, M. "Soil Erosion Threatens Food Production". *Agriculture*, vol. 3, no. 3, 8 de agosto de 2013, pp. 443-463, ISSN 2077-0472, DOI 10.3390/agriculture3030443.
- Zhang, X.; Wu, B.; Ling, F.; Zeng, Y.; Yan, N. y Yuan, C. "Identification of priority areas for controlling soil erosion". *Catena*, vol. 83, no. 1, 15 de octubre de 2010, pp. 76-86, ISSN 0341-8162, DOI 10.1016/j.catena.2010.06.012.
- Romero, D. M. A.; Ruiz, S. J.-D. y Belmonte, S. F. "Tasas de erosión hídrica en la región de Murcia". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, no. 56, 2011, pp. 129-153, ISSN 0212-9426.
- Duran, Z. V. H.; Francia, M. J. R.; García, T. I.; Arroyo, P. L. y Martínez, R. A. "Mitigación de la erosión de suelos en plantaciones de almendro por cubiertas vegetales: implicaciones para la agricultura sostenible de montaña (SE España)". *Comunicata Scientiae*, vol. 3, no. 2, 28 de junio de 2012, pp. 123-129, ISSN 2177-5133.
- Castro, M. I. "Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 34, no. 2, agosto de 2013, pp. 3-16, ISSN 1680-0338.
- Sánchez, H. R.; Mendoza, P. J. de D.; De la Cruz, R. J. C.; Mendoza, M. J. E. y Ramos, R. R. "Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG". *Universidad y ciencia*, vol. 29, no. 2, agosto de 2013, pp. 153-161, ISSN 0186-2979.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. [en línea]. (ser. Agriculture Handbooks (USA), no. ser. 537), edit. CAB Abstracts, 1978, 62 p., CABDirect2, Record Number 19786726437, [Consultado: 14 de enero de 2016], Disponible en: <<http://www.cabdirect.org/abstracts/19786726437.html;jsessionid=3384551CA8CA8CF1335646F031BD1F8E>>.
- Williams, J. R.; Renard, K. G. y Dike, P. T. "Viewpoint: EPIC: A new method for assessing erosion's effect on soil productivity". *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 38, no. 5, 1983, pp. 381-383, ISSN 0022-4561.
- Ascough, J. C.; Baffaut, C.; Nearing, M. A. y Liu, B. Y. "The WEPP watershed model: I. Hydrology and erosion". *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, vol. 40, no. 4, 1997, pp. 921-933, ISSN 0001-2351, 2151-0059.
- Arnold, J. G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R. S. y Williams, J. R. "Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development1". *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, vol. 34, no. 1, 1 de febrero de 1998, pp. 73-89, ISSN 1752-1688, DOI 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.
- Hammad, A. A.; Lundekvam, H. y Børresen, T. "Adaptation of RUSLE in the Eastern Part of the Mediterranean Region". *Environmental Management*, vol. 34, no. 6, 12 de enero de 2005, pp. 829-841, ISSN 0364-152X, 1432-1009, DOI 10.1007/s00267-003-0296-7.
- Verbist, B.; Poesen, J.; van Noordwijk, M.; Widiyanto; Suprayogo, D.; Agus, F. y Deckers, J. "Factors affecting soil loss at plot scale and sediment yield at catchment scale in a tropical volcanic agroforestry landscape". *CATENA*, vol. 80, no. 1, 15 de enero de 2010, pp. 34-46, ISSN 0341-8162, DOI 10.1016/j.catena.2009.08.007.
- Vich, A. I. y Mariani, A. "Evaluación y predicción de la erosión hídrica en regiones áridas de relieve acentuado del centro-oeste de Argentina". *Muldequina*, vol. 19, no. 1, 2010, pp. 00-00, ISSN 0327-9375.
- Cantón, Y.; Solé-Benet, A.; de Vente, J.; Boix-Fayos, C.; Calvo-Cases, A.; Asensio, C. y Puigdefábregas, J. "A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain". *Journal of Arid Environments*, vol. 75, no. 12, diciembre de 2011, (ser. Deserts of the World Part IV: Iberian Southeast), pp. 1254-1261, ISSN 0140-1963, DOI 10.1016/j.jaridenv.2011.03.004.
- Bonilla, C. A.; Reyes, J. L. y Magri, A. "Estimación de la Erosión Hídrica Empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) y SIG en Chile Central". *Chilean journal of agricultural research*, vol. 70, no. 1, marzo de 2010, pp. 159-169, ISSN 0718-5839, DOI 10.4067/S0718-58392010000100017.
- Santa Cruz, de L. G. "Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Cahocán, Chiapas, México". *Aqua-Lac*, vol. 3, no. 1, 2011, pp. 45-54, ISSN 1688-2873.
- Hernández, J. A.; Ascanio, G. M. O.; Morales, D. M.; Bojórquez, S. J. I.; García, C. M. E. y García, P. J. D. *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. edit. Universidad Autónoma de Nayarit, México, 2008, 264 p., ISBN 978-968-833-072-2.

23. Volk, M.; Möller, M. y Wurbs, D. "A pragmatic approach for soil erosion risk assessment within policy hierarchies". *Land Use Policy*, vol. 27, no. 4, octubre de 2010, pp. 997-1009, ISSN 0264-8377, DOI 10.1016/j.landusepol.2009.12.011.
24. Ramirez, F. A. y Hincapie G., E. "Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas". *Cenicafé*, vol. 60, no. 2, 1 de diciembre de 2009, pp. 173-189, ISSN 0120-0275.
25. Metternicht, G. y Gonzalez, S. "FUERO: foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction". *Environmental Modelling & Software*, vol. 20, no. 6, junio de 2005, pp. 715-728, ISSN 1364-8152, DOI 10.1016/j.envsoft.2004.03.015.
26. Bienes, A. R.; Pérez María José Marqués y Ruíz, C. M. "Cultivos herbáceos, viñedos y olivares: el manejo tradicional del suelo y sus consecuencias en la erosión hídrica". *Cuadernos de investigación geográfica*, no. 38, 2012, pp. 49-74, ISSN 0211-6820.
27. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales* [en línea]. Inst. SEMARNAT, Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, México, 2008, ISBN 978-968-817-910-9, [Consultado: 15 de enero de 2016], Disponible en: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IisScript=COLPOS.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=039524>>.
28. Zamudio, V. y Méndez, E. "La vulnerabilidad de erosión de suelos agrícolas en la región centrosur del estado de Nayarit, México". *Ambiente y Desarrollo*, vol. 15, no. 28, 8 de agosto de 2012, pp. 11-40, ISSN 0121-7607, Población económicamente activa, comunidades campesinas.
29. Delgado, M. I. "Modelización de la pérdida de suelo en sierras del sudoeste de la provincia de Buenos Aires". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 42, no. 2, 2010, ISSN 0370-4661, [Consultado: 15 de enero de 2016], Disponible en: <<http://hdl.handle.net/10915/29465>>.
30. Zinck, J. A. *Geopedology. Elements of geomorphology for soil and geohazard studies*. [en línea]. edit. ITC Faculty of Geo - Information Science and Earth Observation, Netherland, 1 de enero de 2013, 121 p., ISBN 978-90-6164-352-4, [Consultado: 15 de enero de 2016], Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/259885492_Geopedology_Elements_of_geomorphology_for_soil_and_geohazard_studies>.
31. Vivanco, J. C.; Bojórquez, J. I.; Murray, R. M.; Nájera, O.; Flores, F. y Hernández, A. "Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa, Tepic, Nayarit, México". *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 1, marzo de 2010, pp. 32-40, ISSN 0258-5936.
32. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. (ser. World Soil Reports, no. ser. 106), edit. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2014, 191 p., ISBN 978-92-5-108370-3.
33. Viramontes, O. O. *Manual para determinar pérdida de suelo en cuencas hídricas aplicando la ecuación universal (USLE) y tecnología espacial*. edit. Universidad Autónoma de Chihuahua, México, 2010, 123 p., ISBN 978-607-7691-38-9.
34. Arekhi, S.; Niazi, Y. y Kalteh, A. M. "Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran". *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 5, no. 2, 6 de noviembre de 2010, pp. 285-296, ISSN 1866-7511, 1866-7538, DOI 10.1007/s12517-010-0220-4.
35. Frank, S.; Fürst, C.; Witt, A.; Koschke, L. y Makeschin, F. "Making use of the ecosystem services concept in regional planning—trade-offs from reducing water erosion". *Landscape Ecology*, vol. 29, no. 8, 7 de febrero de 2014, pp. 1377-1391, ISSN 0921-2973, 1572-9761, DOI 10.1007/s10980-014-9992-3.
36. Aparicio, M. F. J. *Fundamentos de hidrología de superficie*. edit. Limusa, 1989, 303 p., ISBN 978-968-18-3014-4.
37. Becerra, M. A. *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. edit. Universidad Autónoma Chapingo, México, 1 de enero de 1999, 376 p., ISBN 978-968-884-519-6.
38. Nájera, G. O.; Bojórquez, S. J. I.; Cifuentes, L. J. L. y Marceleño, F. S. "Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit". *Revista Bio Ciencias*, vol. 1, no. 1, 1 de julio de 2010, pp. 19 -29, ISSN 2007 3380, DOI 10.15741/rev bio ciencias.v1i1.8.
39. Pereyra, D. D.; Gómez, R. L. y Loeza, H. F. "Pérdida de suelo por erosión hídrica". En: eds. Rivera T. F., Gutiérrez L. A., Val S. R., Mejía S. R., Sánchez R. P., Aparicio M. F. J., y Díaz F. L. L., *La medición de sedimentos en México*, edit. IMTA-UJAT, Tabasco, México, 2005, pp. 61-84, ISBN 968-5536-53-8.
40. García, R. J. M. "The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review". *CATENA*, vol. 81, no. 1, 15 de abril de 2010, pp. 1-11, ISSN 0341-8162, DOI 10.1016/j.catena.2010.01.001.
41. Drzewiecki, W.; Weżyk, P.; Pierzchalski, M. y Szafrńska, B. "Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images". *Pure and Applied Geophysics*, vol. 171, no. 6, 21 de abril de 2013, pp. 867-895, ISSN 0033-4553, 1420-9136, DOI 10.1007/s00024-013-0669-7.
42. Colín, G. G.; Ibáñez, C. L. A.; Reyes, S. J. y Arteaga, R. R. "Diagnóstico de la erosión hídrica de la cuenca del río Pichucalco". *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, vol. 5, no. 1, junio de 2013, pp. 23-31, ISSN 20073925, 20074026, DOI 10.5154/r.inagbi.2013.04.002.
43. Espinosa, R. M.; Andrade, L. E. del C.; Rivera, O. P. y Romero, D. M. A. "Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México". *Papeles de geografía*, no. 53, 2011, pp. 77-88, ISSN 0213-1781.

Recibido: 15 de octubre de 2014

Aceptado: 29 de octubre de 2015