

ARTÍCULOS

Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE

High levels of water erosion in a tropical micro-watershed calculated by USLE model

Jaya-Santillán, Juan



II Congreso de Datos Abiertos y Metadatos
CODAM 2022
DATOS ABIERTOS
EN LA CIENCIA
Ecuador



data.lat.org



Juan Jaya-Santillán

juanpablojayas@gmail.com

Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua.

Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena.

Napo, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN: 1390-7042

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 15, núm. 1, 2023

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 26 Octubre 2022

Aprobación: 23 Enero 2023

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4269>

Financiamiento

Esta es una investigación no experimental, se trata de un modelo matemático que emplea datos satelitales de libre acceso y sistemas de información geográfica (SIG).

Autor de correspondencia: juan.jaya@est.ikiam.edu.ec



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Cómo citar: Jaya-Santillán, J. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 15(1), 26-39.

<https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4269>

Resumen: Basándose en el método USLE, se utilizó SIG para modelar las tasas de erosión en la Microcuenca de Río Muchacho (MRM). Los resultados de la simulación muestran una pérdida media de suelo de 74,4 t/ha/año, correspondiente a la categoría de "erosión alta". Las cabeceras de la MRM, caracterizadas por suelos dispersos, vegetación escasa, pastoreo, pendientes pronunciadas y lluvias frecuentes, presentan tasas de erosión del suelo medias a muy altas (> 25 t/ha/año). Por otro lado, las zonas con alta densidad de vegetación, pendientes moderadas y escasas precipitaciones presentan tasas de erosión bajas (0-25 t/ha/año) y se sitúan principalmente en la parte central y baja de la cuenca. Los resultados de la simulación mostraron una distribución de los datos sesgada a la derecha (skew = 1,8), es decir presenta valores de erosión altos con mayor frecuencia; y leptocúrtica (Kurt = 21,2) con valores atípicos poco frecuentes.

Palabras clave: USLE; río muchacho; erosión hídrica del suelo; precipitación; microcuenca; análisis espacial.

Abstract: Based on the USLE method, GIS was used to model erosion rates in the Muchacho River Microbasin (MRM). The simulation results show an average soil loss of 74.4 t/ha/year, corresponding to the "high erosion" category. The headwaters of the MRM, characterized by scattered soils, sparse vegetation, grazing, steep slopes and frequent rainfall, show medium to very high soil erosion rates (> 25 t/ha/yr). On the other hand, areas with high vegetation density, moderate slopes and low rainfall present low erosion rates (0-25 t/ha/yr) and are mainly located in the central and lower part of the watershed. The simulation results showed a distribution of the data skewed to the right (skew = 1.05), i.e. severe erosion values with higher frequency; and leptokurtic (Kurt = 3.57) with lower frequency of extreme values.

Keywords: USLE; muchacho river; soil water erosion; rainfall; microbasin; spatial analysis.

INTRODUCCIÓN

La erosión es un problema global con efectos ambientales debido a la remoción de nutrientes y partículas del suelo, además de la contaminación de cuerpos de agua por la disgregación de material; así como implicaciones económicas como la pérdida de la productividad del suelo, que afecta principalmente a pequeños grupos de productores agropecuarios (Holý, 2015, p. 1; Benavidez et al., 2018, p. 1). La erosión del suelo es causada por diversos agentes antropogénicos como deforestación, embalsamiento de los ríos, urbanización, y factores naturales como la precipitación, viento e inclinación de la pendiente (Lal, 1998; Zuazo & Pleguezuelo, 2009). Más del 50% del territorio ecuatoriano ha sido degradado y afectado por procesos erosivos. A nivel regional, la costa es una zona afectada por la erosión del suelo debido a las altas tasas de deforestación como consecuencia de la expansión agrícola y ganadera (De Noni & Trujillo, 1986).

De forma similar, la microcuenca de Río Muchacho (MRM) presenta problemas como la pérdida de biodiversidad, reducción de la calidad y disponibilidad del agua, inundaciones y pérdida de productividad del suelo, que están relacionados con la erosión (Carrillo et al., 2020; Oñate & García, 2021). La erosión del suelo en la MRM se atribuye principalmente a la deforestación y compactación del suelo, malas prácticas agrícolas (p.ej. monocultivos, siembra en laderas, barbecho corto) y al uso incontrolado de la tierra desde la década de 1960 (Chancay et al., 2021).

La metodología USLE es un modelo matemático empleado para calcular la tasa de erosión hídrica del suelo (Loaiza & Silva, 2018), aceptado a nivel mundial por su facilidad de implementación y escalabilidad. La hipótesis principal de este enfoque es que la precipitación es el factor activo más importante de la erosión hídrica del suelo; sin embargo, la disgregación del material por salpicadura dependerá también de las condiciones y propiedades del suelo (González del Tánago, 1991). Dado el patrón histórico de degradación del suelo en la MRM, se empleó el método USLE, tomando en cuenta factores topográficos, meteorológicos y edáficos, con el fin de realizar un análisis de la erosión hídrica del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La MRM está ubicada en el centro-occidente del Ecuador, a 7 km de la parroquia Canoa, en el cantón San Vicente, entre la cordillera Chongón-Colonche, costa del Pacífico de la provincia de Manabí. Su elevación varía entre 40 y 417 m.s.n.m. (ver figura 1) y tiene una red de drenaje de 61,9 km² (Chancay et al., 2021). La MRM forma parte del sistema hidrográfico del río Jama, y está compuesto por tres ríos perennes y once estacionales. Cuenta con varias regiones biogeográficas que van desde los bosques húmedos hasta los bosques secos tropicales, dando lugar a un clima subhúmedo. La temperatura del área de estudio oscila entre 23 °C y 31 °C, y su humedad relativa es del 79% (Cárdena et al., 2012). Asimismo, la precipitación normal en esta hidrografía oscila entre 235 y 452 mm con una desviación estándar de 82 a 109 mm (Comisión Nacional de la Situación, 2013; Río Muchacho, 2019).

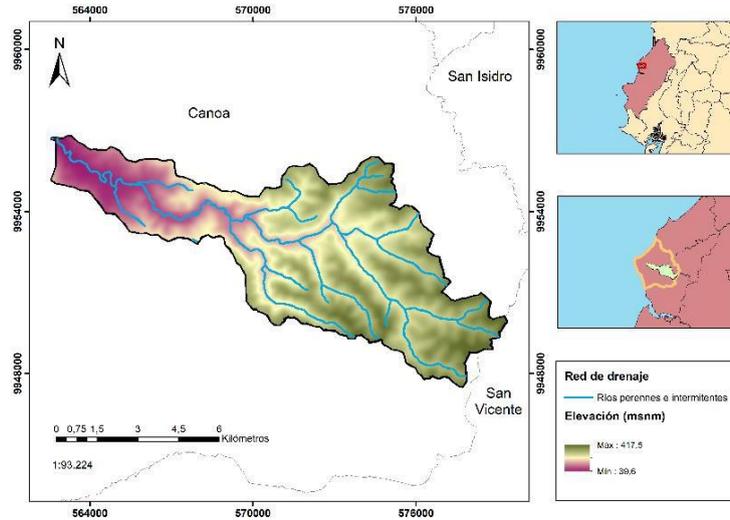


FIGURA 1

Mapa de ubicación de la microcuenca del río Muchacho

Cálculo de la erosión hídrica del suelo mediante el método USLE

Para estimar la pérdida del suelo, se trabajó con la ecuación 1 de Wischmeier y Smith (1978) que tiene en cuenta cinco variables: el coeficiente de erosividad de la lluvia (R), el coeficiente de erosividad del suelo (K), el coeficiente de topografía (LS), el coeficiente de cobertura vegetal (C) y el coeficiente de prácticas de conservación del suelo (P). Toda la información espacial se analizó y procesó en el software ArcGIS; también se utilizó RStudio para la gestión y manejo de datos. La figura 2 ofrece una visión general del procedimiento metodológico, mostrando los datos y procedimientos para obtener cada factor de erosión (ver figura 2).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad \text{Ec. (1)}$$

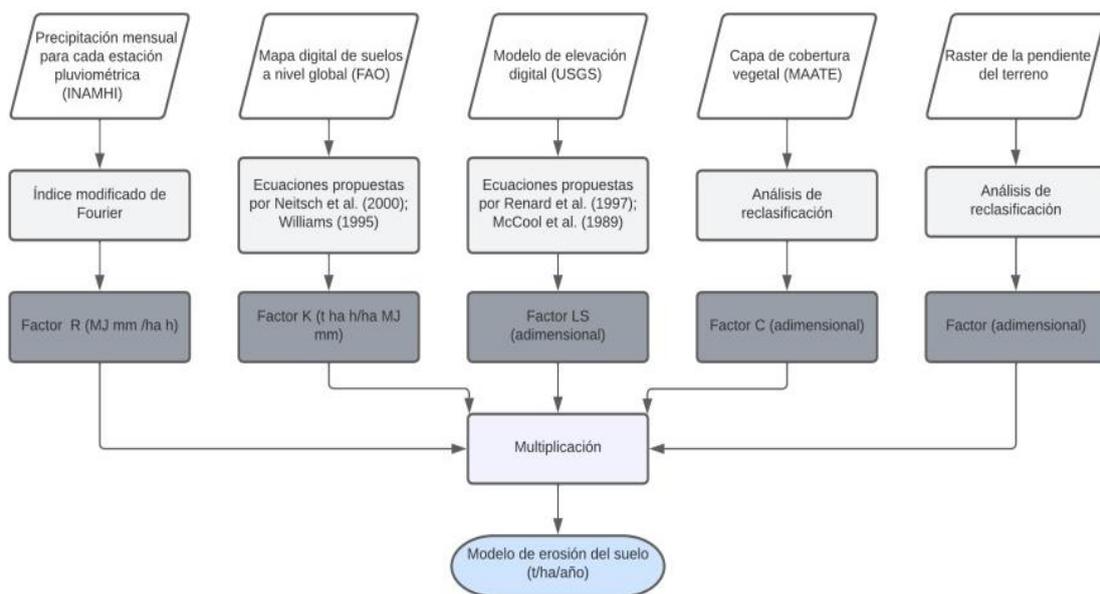


FIGURA 2

Diagrama de flujo de la metodología USLE utilizando SIG

Factor de erosión pluvial (R)

Este parámetro está relacionado con el potencial erosivo de la lluvia (Escobar Quintero, 2021), y se calculó mediante el índice de Fourier modificado (ver ecuación 2), que emplea datos de precipitación mensuales y anuales de la microcuenca (ver tablas 1 y 2).

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p_t} \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

p_i es la precipitación mensual (mm),

p_t es la precipitación anual (mm),

i es el número del mes.

TABLA 1

Ubicación y precipitación anual de las estaciones meteorológicas de la MRM

Código de la estación	Cantón	UTM Este	UTM Norte	Precipitaciones anuales (mm)
M163	Boyacá	591454,0	9936896,0	5963
M167	Jama	581819,8	9978229,9	2238,9
M168	Pedernales	605691,3	9992937,4	929,9
M446	San Isidro	591027,0	9958637,0	1578,3
M611	Bahía de Caráquez	565977,0	9933459,0	509,1

TABLA 2

Precipitación mensual en estaciones pluviométricas de la MRM

Código	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
M163	1991,4	1685,7	1673,9	593,0	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M167	409,2	426,9	481,3	322,2	347,6	124,3	47,9	0,0	55,5	11,0	13,0	0,0
M168	160,6	189,2	576,4	329,1	234,3	26,2	37,7	4,9	13,4	0,0	4,0	2,5
M446	102,1	198,6	84,7	76,5	18,4	6,2	2,4	2,7	1,4	1,7	1,2	13,2
M611	136,3	300,3	197,9	120,9	65,5	7,1	0,6	3,7	0,8	9,7	0,7	86,4

Se utilizó cinco estaciones ubicadas dentro y alrededor de la MRM (ver figura 3). Los datos mensuales de precipitaciones se obtuvieron de los anuarios meteorológicos del INAMHI correspondientes a 1998, ya que este fue el año que registró mayores precipitaciones.

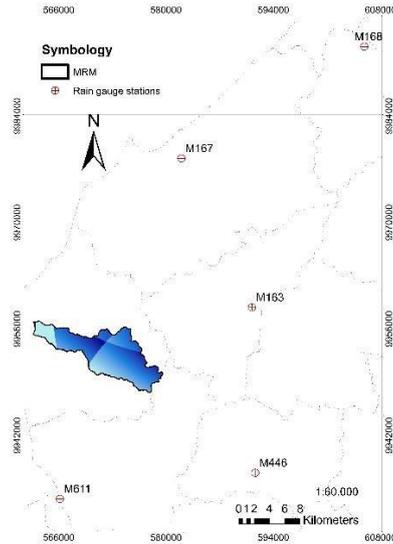


FIGURA 3

Estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca

Varios estudios han aplicado una correlación entre el factor R y el IMF con el fin de reajustar el modelo (Benavidez et al., 2018, p. 6), mediante fórmulas que varían según las condiciones de cada región. Se utilizó la ecuación 3 propuesta por Arnoldus (1977) para calcular el factor R (ver figura 4).

$$R = 2,56 \cdot IMF^{1,065} \quad \text{Ec. (3)}$$

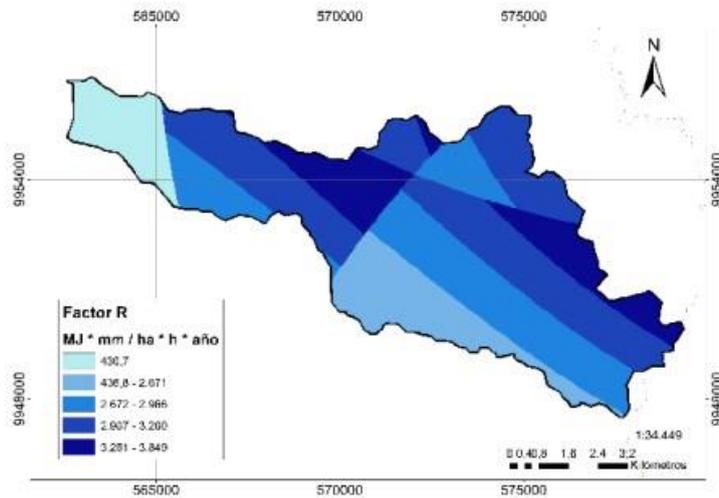


FIGURA 4

Mapa del factor de erosión pluvial (R)

Factor de erosionabilidad del suelo (K)

El factor K determina la separación de partículas del suelo, dependiendo de sus propiedades físicas y químicas, como la textura, la estabilidad y la permeabilidad de los agregados (Escobar

Quintero, 2021). Para su cálculo, se utilizó la capa digital del suelo proporcionada por la FAO/UNESCO, que posee atributos como el contenido de arena (%), el contenido de limo y arcilla (%), el contenido de materia orgánica (%) y el contenido de arena fina (%). Las ecuaciones propuestas por Neitsch et al. (2005) y Williams (1995) se utilizaron para obtener el factor de erosionabilidad del suelo (ver ecuación 4 y figura 5).

$$K = 0,1317 \cdot f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand} \quad \text{Ec. (4)}$$

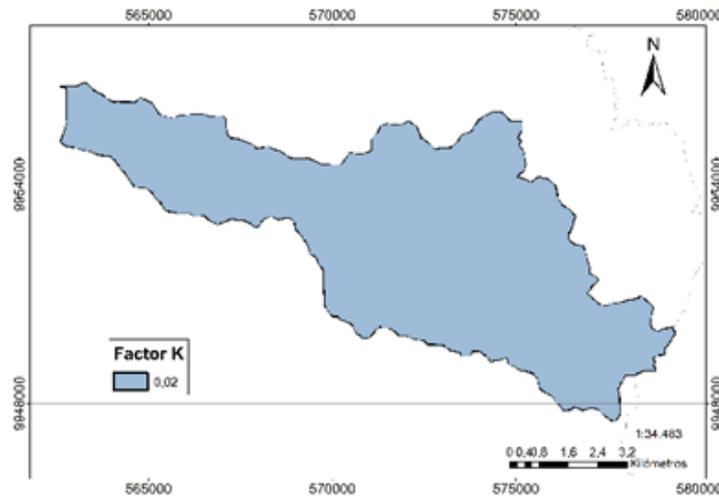


FIGURA 5
Factor (K) de la MRM

Factor de longitud de la pendiente (LS)

Establece que la tasa de escorrentía superficial y la tensión de corte, aumentan con la longitud y la pendiente del terreno (Escobar Quintero, 2021). Se calculó mediante las ecuaciones de Renard (1997); Desmet & Govers (1996) y McCool et al. (1989) (ver ecuación 5).

$$A_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - (A_{(i,j)})^{m+1}}{X^m \cdot D^{m+2} \cdot 22,13^m} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

$A(i, j)$ es el área contribuyente,

D es el tamaño del píxel,

X es un factor de corrección de forma,

m es un parámetro adimensional que depende de la pendiente del terreno.

A continuación, las ecuaciones 6 y 7 fueron empleadas para determinar el factor de longitud de pendiente L .

$$F = \frac{\frac{\sin \beta}{0,0896}}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$m = \frac{F}{1+F} \quad \text{Ec. (7)}$$

Estas ecuaciones toman el valor de la pendiente (β) como variable principal (figura 6).

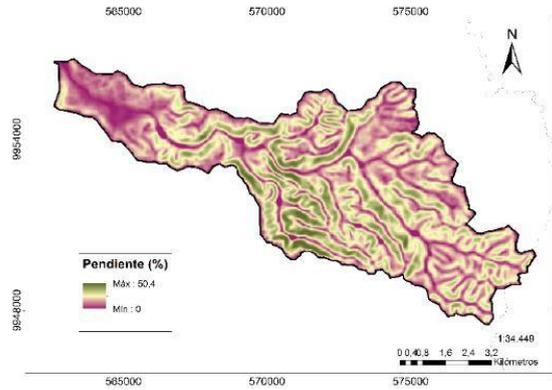


FIGURA 6

Porcentaje de pendiente de la Microcuenca de Río Muchacho

El coeficiente S se calculó mediante las ecuaciones 8 y 9 para valores de pendientes mayores y menor que 9 %.

$$S = 10,8 \sin(\beta_{(i,j)}) + 0,03 < 9\% \quad \text{Ec. (8)}$$

$$S = 16,8 \sin(\beta_{(i,j)}) + 0,50 \geq 9\% \quad \text{Ec. (9)}$$

Finalmente, se multiplicaron las capas L y S, dando como resultado el factor de longitud y pendiente LS (ver figura 7).

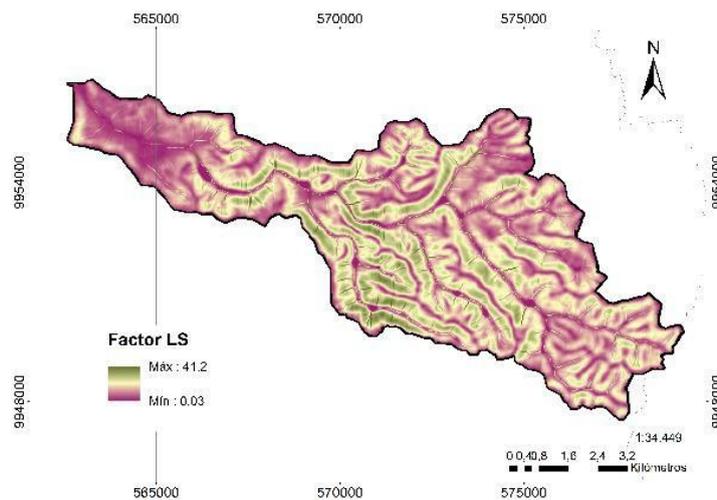


FIGURA 7

Factor de longitud de pendiente (LS)

Factor de cobertura vegetal (C)

Este factor supone que el terreno está cubierto o no y, por lo tanto, ayuda a reducir o incrementar el impacto de las gotas de lluvia (Portuguez, 2015). Para su cálculo (ver figura 8) se descargó la capa digital de cobertura del suelo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2020), la cual fue reclasificada utilizando SIG y los criterios de clasificación descritos por Wischmeier & Smith (1978) y Portuguez (2015). Las zonas con poca cobertura vegetal tienen un valor igual o cercano a 1 (p. ej. suelo desnudo), mientras que las áreas con densidad de vegetación tienen un valor cercano a 0 (p. ej. bosque).

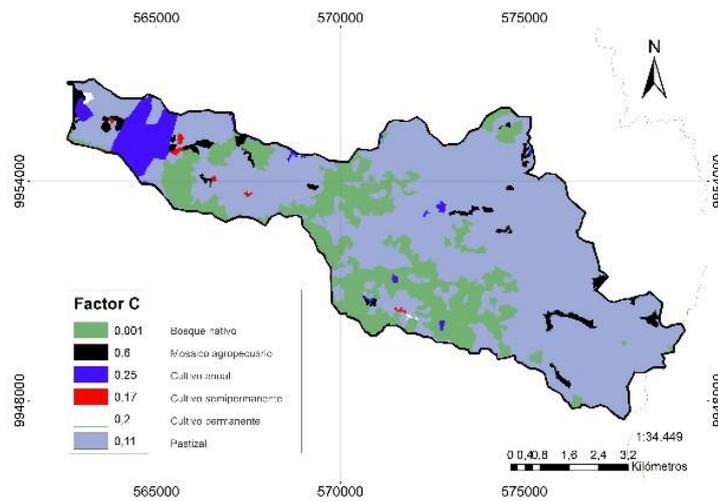


FIGURA 8

Factor de cobertura vegetal (C)

Factor de prácticas de conservación (P)

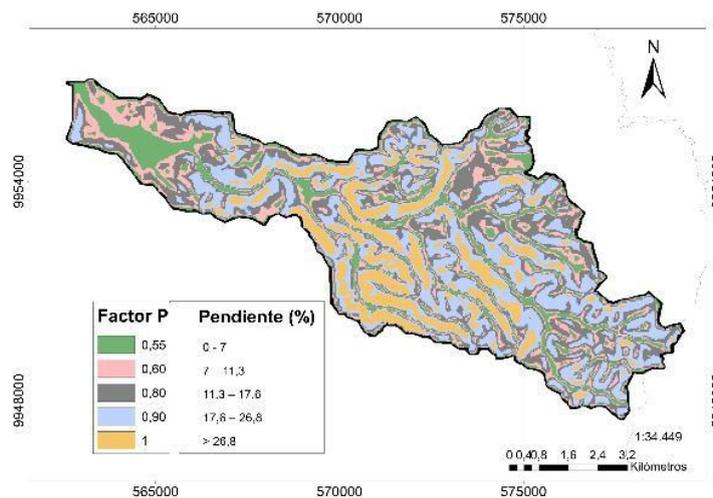


FIGURA 9

Factor de prácticas de conservación (P)

El factor P asume que existen prácticas y estrategias sostenibles para la conservación del suelo. Debido a la dificultad para obtener datos sobre las prácticas de gestión del suelo, varios autores

han ajustado el valor del factor P en función del gradiente de pendiente del terreno con el fin de obtener valores próximos de P sin necesidad de levantar información en campo (Xiong et al., 2019). En este sentido, se utilizó un DEM para generar un mapa de pendiente, que fue reclasificado según los criterios de Shin (1999) (ver figura 9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de erosión hídrica del suelo (A)

Es una cuantificación de la pérdida del suelo, medido en toneladas por hectárea al año (toneladas/ha/año). Para su cálculo (ver figura 10) se utilizó el método USLE, y el resultado se reclasificó según los criterios de la tabla 3 propuesta por Ramos (2001), Velásquez (2008) y Ramírez (2010).

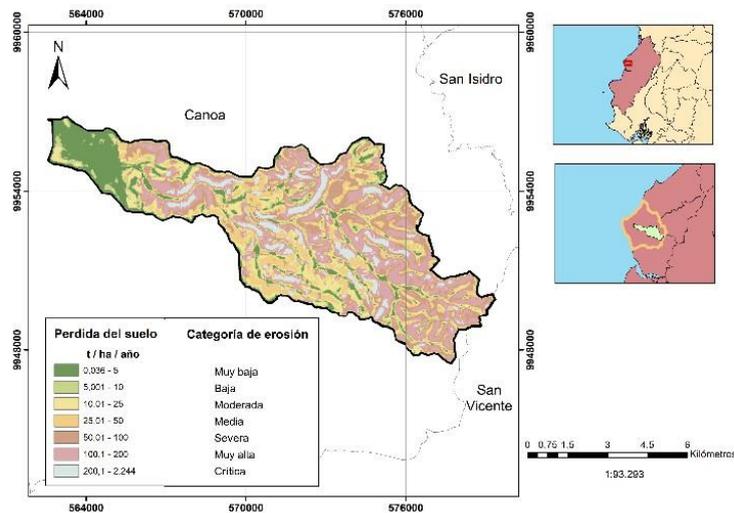


FIGURA 10

Mapa de erosión hídrica del suelo para la microcuenca de río Muchacho

TABLA 3

Clasificación del grado de erosión y pérdida del suelo

Pérdida del suelo (t/ha/año)	Categoría	Interpretación
0 – 5	Muy Baja	Suelos no susceptibles al proceso erosivo
5 – 10	Baja	Suelos con niveles de erosión bajos y pérdidas tolerables
10 – 25	Moderada	Zonas con procesos erosivos leves
25 – 50	Media	Zonas con pérdidas del suelo poco tolerables
50 – 100	Alta	Suelos con grados de erosión grave
100 – 200	Muy Alta	Sitios donde la erosión se aprecia con frecuencia
> 200	Crítica	Zonas con procesos erosivos extremos

Fuente: Ramos (2001); Velásquez (2008) y Ramírez (2010).

Análisis del modelo de erosión del suelo

Los resultados de la simulación muestran una distribución altamente sesgada hacia la derecha ($skew = 1,8$) y leptocúrtica ($kurt = 21,2$), con una media de 74,4 t/ha/año (ver figura 11), lo que sugiere valores de erosión altos con mayor frecuencia y valores atípicos poco frecuentes.

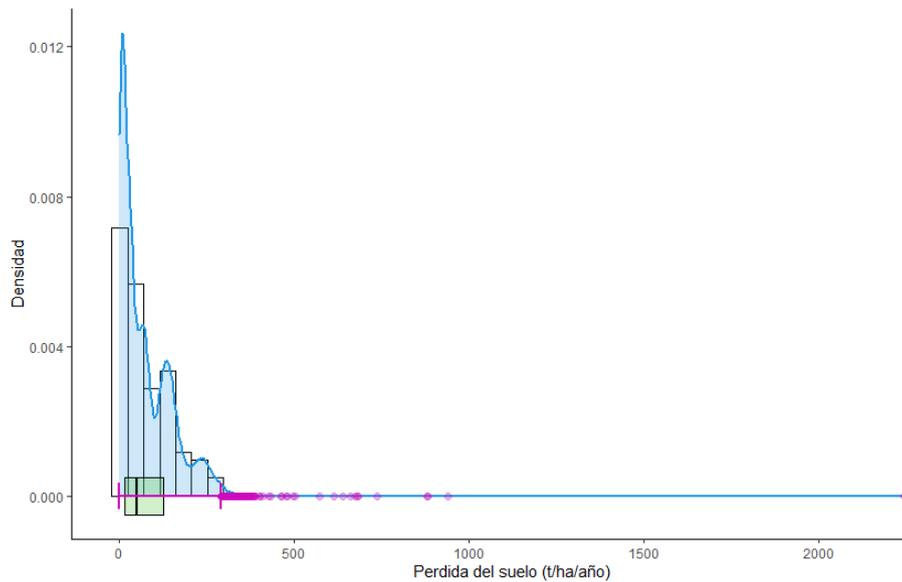


FIGURA 11

Histograma de densidad y caja de bigotes del modelo USLE

La figura 12 muestra que aquellas zonas con un grado de erosión “muy alta” (100 a 200 t/ha/año) son las más frecuentes en la microcuenca, representando el 23,3 % (1 395 ha) del territorio.

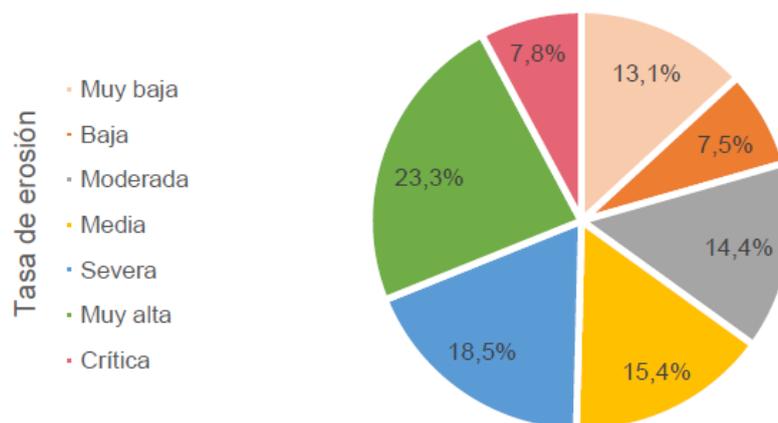


FIGURA 12

Gráfico de pastel del modelo de erosión reclasificado

Dichos valores son comparables a los obtenidos por Khairunnisa et al. (2020) que reportaron tasas de erosión altas en la cuenca de Citarium Hulu, Indonesia (61 a 180 t/ha/año), así como a los datos calculados por Girmay et al. (2020) en la cuenca de Agewmariam, al norte de Etiopía,

que presenta un 67,2 % de su territorio con problemas de erosión grave (>51 t/ha/año). Los autores atribuyen las altas tasas de erosión a terrenos con cultivos y pendientes pronunciadas. Las partes medias y altas de la microcuenca se encuentran categorizadas como zonas de “erosión media” (25 – 50 t/ha/año) y “erosión alta” (50 – 100 t/ha/año), conformando el 18,5 % y 15,4 % (1 108 ha y 923 ha) respectivamente. A pesar de su baja frecuencia (7,8 %; 468 ha) las áreas de “erosión crítica” (> 200 t/ha/año) son zonas de atención prioritaria y por ende se las debe considerar ante posibles programas y proyectos de manejo del suelo y prevención de riesgos en la microcuenca.

Por otra parte, las tasas de erosión clasificadas desde muy bajas a moderadas (0 – 25 t/ha/año) se encuentran en la parte baja de la microcuenca, y representan el 35 % (2 095 ha) de la superficie total. La figura 13 compara diferentes valores de erosión del suelo en varios grupos de cobertura y pendiente (Factor C y LS), y no considera al factor R ya que se infiere su alto valor dentro del modelo, más bien, evalúa el efecto de las variables propias del terreno. En pendientes planas, la erosión del suelo disminuye debido a que la velocidad de escurrimiento del agua al es baja y no varía demasiado entre diferentes tipos de cobertura (bosque = 6 t/ha/año; pastizal = 10 t/ha/año).

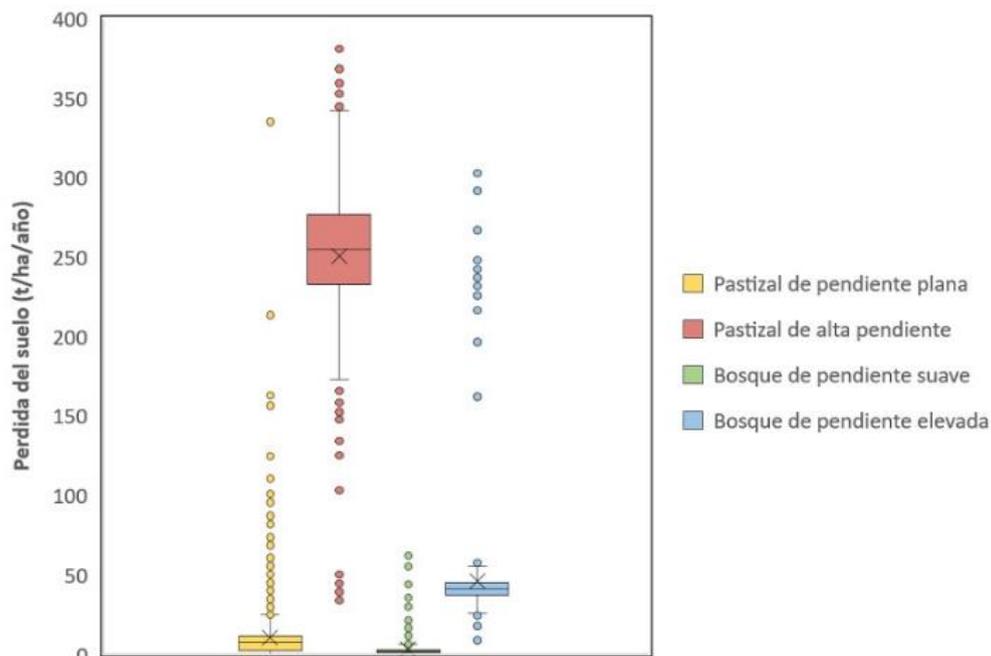


FIGURA 13

Diagrama de caja y bigotes de componentes principales del USLE

Por otro lado, en laderas con poca o nula cobertura vegetal, la erosión incrementa de forma abrupta (pastizal = 262 t/ha/año) por el aumento de la energía cinética durante el escurrimiento; mientras que, si el terreno está cubierto por vegetación, la erosión aumenta, pero de forma moderada (bosque = 45 t/ha/año). Bajo este contexto, se puede deducir que la pérdida del suelo (t/ha/año) se potencia más por el cambio de cobertura del suelo, que con el aumento de la pendiente (Hernando & Romana, 2015). Los valores atípicos que muestra el gráfico son producto de la aportación del factor R en el modelo.

CONCLUSIONES

La MRM presenta niveles de erosión severos (50 – 100 t/ha/año), en áreas ubicadas entre los 200 a 400 msnm. Este problema se agrava en aquellas zonas con poca o nula cobertura vegetal y lluvias intensas. Sin embargo, se ha evidenciado que, en sitios con presencia de bosque, la erosión no tiene un salto abrupto por el cambio de pendiente. Es por ello que, se deben ejecutar acciones y programas competentes para conservar estos lugares, ya que sirven como zonas de protección contra la erosión hídrica del suelo. Por otro lado, USLE es un modelo de erosión que puede ser implementado de forma sencilla mediante el uso de SIG, ya que las bases de datos geospaciales necesarias para el modelo son de libre acceso. Por ende, es importante el manejo de herramientas y softwares geospaciales en los procesos de planificación territorial.

Se puede asegurar que los problemas hídricos reportados en la MRM como la disminución de la calidad y cantidad de agua, pérdida de la productividad del suelo e inundaciones, se atribuyen principalmente a la deposición natural de material en el cauce, así como cambios en las dinámicas de infiltración y recarga de acuíferos. Las áreas con problemas de erosión extrema se caracterizan principalmente por tener suelos con poca o nula cobertura vegetal, laderas, lluvias intensas y malas prácticas de manejo y conservación del suelo. Mientras que los sitios que poseen suelos poco permeables, pendientes suaves y valores moderados – bajos de precipitación son áreas donde la erosión es baja.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres que han sido el principal apoyo en mi vida. Gracias por sus consejos y todo el amor que siempre me han brindado. Desde pequeño me han enseñado que el esfuerzo y la dedicación son importantes para cumplir mis metas, y ahora se ve reflejado los frutos de sus enseñanzas. A mi familia, amigos y tutores que impulsaron mis ideas y me acompañaron durante mi vida universitaria. Cada persona ha sido una experiencia que disfrutar y de la cual aprender. Gracias a la ciencia por enseñarme que la mejor forma de aprender y entender un proceso es mediante la experimentación y la investigación.

REFERENCIAS

- Arnoldus, H. M. J. (1977) *Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco*.
- Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D. & Norton, K. (2018) A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6059-6086.
- Cárdena, L., Echeverría, X., Arévalo, D., Fierro, P., Salin, E., Carrera, A., Martínez, M., Palacios, F. & Lucero, R. (2012) *Memoria técnica del cantón San Vicente: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Quito, Ecuador.
https://www.geoportalmg.gov.ec/geodescargas/san_vicente/mt_san_vicente_sistemas_productivos.pdf
- Carrillo, H., Mena, G., Martínez, D., Zurita, B., Chancay, J., Oñate, V., Segarra, V., Miño, K. & Sanmartín, R. (2020) *Diagnóstico integral previo al plan de manejo de los recursos hídricos y acuáticos de la cuenca del río*

Muchacho.

- Chancay, J. E., Lucas-Solis, O., Alvear-S, D., Martínez-R, D., Mena, G., Zurita, B., Carrasco-S, L., Carrillo, H., Segarra, V., Naranjo, E., Coronel, B., Espinosa, R., Cabrera, M., Capparelli, M. V. & Celi, J.E. (2021) Integrating multiple lines of evidence to assess freshwater ecosystem health in a tropical river basin. *Environmental Pollution*, 289 (July), 117796. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117796>
- Climatic Research Unit and Met Office. (2022) Temperatura anual, Portoviejo, Manabí, Ecuador. *Proyecto CRUTEM5*. Google Earth. University of East Anglia
- De Noni, G., & Trujillo, G. (1986) La erosión actual y potencial en Ecuador: localización, manifestaciones y causas. *Documentos de investigación, Centro ecuatoriano de investigación geográfica*, (6), 5- 14.
- Desmet, P. J. J. & Govers, G. A. (1996) GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *J. Soil Water Conserv.*, 51, 427-33.
- Escobar Quintero, J. N. (2021) *Análisis comparativo entre rusle y el análisis multicriterio, para obtener la erosión hídrica en la microcuenca del río Amarillo, El Oro Ecuador* [Bachelor's tesis]. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil.
- Girmay, G., Moges, A. & Muluneh, A. (2020) Estimation of soil loss rate using the USLE model for Agewmariayam Watershed, northern Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 9(1), 1-12.
- González del Tánago, M. (1991) La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología*, 5, 13-50.
- Hernando, D. & Romana, M. G. (2015) Development of a soil erosion classification system for cut and fill slopes. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 2(4), 155-166.
- Holý, M. (2015) *Erosion and Environment: environmental sciences and applications*. Elsevier, 9.
- Khairunnisa, F., Tambunan, M. P. & Marko, K. (2020) Estimation of soil erosion by USLE model using GIS technique (A case study of upper Citarum Watershed). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 561 (1), 012038. IOP Publishing - August.
- Lal, R. (1998) Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical reviews in plant sciences*, 17(4), 319-464.
- Loaiza, S. & Silva, M. A. D. (2018) *Evaluación del potencial de mitigación de las estrategias de adaptación implementadas en los Territorios Sostenibles Adaptados al Clima (TeSAC)*
- MAATE (2020) *Sistema único de información ambiental (SULA)*. Datos del Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K. & Meyer, L. D. (1989) Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of ASAE*, 32 (5), 1571–1576.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. & Williams, J. R. (2005) Erosion Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. *Texas Agricultural Experiment Station*, 625
- Portuguez, D. M. (2015) Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Siguas utilizando geoinformática. *Anales Científicos*, 76 (2), 324-329. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ramírez, L. (2010) *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta*. [Tesina Profesional] Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina. 104 p.
- Ramos, C. (2001) *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del Río Cañete y determinación del mapa de erosión*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 30 p.
- Renard, K. G. (1997) *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. United States Government Printing.
- Río Muchacho Organic Farm & Eco-lodge. (2019) *Local Community – Río Muchacho*. Disponible en <https://www.riomuchacho.com/local-community> [Accessed 16 April 2021].
- Shin, G. J. (1999) *The analysis of soil erosion analysis in the watershed using GIS*. [Ph.D. Dissertation] Department of Civil Engineering, Gang-won, National University.
- Velásquez, S. (2008) *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Centro agronómico tropical de

- investigación y enseñanza. Cantón de Coronado, Costa Rica.
- Williams, J. R. (1995) Chapter 25: The EPIC model. In V.P. Singh (ed.) *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, 909-1000.
- Wischmeier, W. & Smith, D. (1978) *Predicting rainfall erosion losses, A. guide to conservation planning*. USDA Hand book, (537), 58 p.
- Xiong, M., Sun, R. & Chen, L. (2019) Global analysis of support practices in USLE-based soil erosion modeling. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(3), 391-409.
- Zuazo, V. H. D. & Pleguezuelo, C. R. R. (2009) Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Sustainable agriculture*, 785-811.