



La erosividad de la lluvia como factor condicionante de la erosión hídrica en Manabí

The erosivity of rain as a conditioning factor of water erosion in Manabí

A erosividade da chuva como condicionante da erosão hídrica em Manabí

Enry Frank Muñoz Mendoza ^I
emunoz0760@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7183-5265>

Elian Arturo González Arteaga ^{II}
egonzalez9743@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5267-8858>

Daniel Delgado ^{III}
daniel.delgado@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5251-8037>

Correspondencia: emunoz0760@utm.edu.ec

Ciencias Naturales
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de diciembre de 2022 * **Aceptado:** 12 de enero de 2023 * **Publicado:** 1 de febrero de 2023

- I. Estudiante Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Estudiante Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Docente Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Red de Desarrollo Urbano Sostenible de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

La erosión del suelo generada por la lluvia constituye uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial, por lo que la importancia de su cuantificación y análisis ha crecido a ritmo acelerado durante los últimos años. Para calcular la erosividad de la lluvia es necesario contar con datos de precipitación de alta resolución temporal, lo que supone una gran limitante al momento de su análisis. El objetivo del presente trabajo fue analizar la distribución espacio-temporal de la erosión potencial del suelo causada por la erosividad de la lluvia en la provincia de Manabí-Ecuador, empleando ráster satelitales de precipitación y aplicando un método innovador basado en la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo. La metodología consideró la distribución de la zona de estudio, la utilización de ráster de precipitaciones de alta calidad disponibles de programas internacionales y el posterior cálculo de la erosividad de la lluvia. Los vectores de la distribución de la zona de estudio fueron obtenidos de fuentes nacionales; la base de datos de precipitación GPM se obtuvo desde el servidor web de la NASA; el cálculo de la erosividad de la lluvia se realizó a partir de un modelo regional. Los resultados mostraron que mayores registros de lluvia se localizan en el este del país, por lo que el potencial erosivo de la lluvia también fue mayor. En contraste, los valores más bajos se localizan cerca del Océano Pacífico, al Oeste. Se identificaron cinco zonas que corresponden a una cuantificación del potencial erosivo de la lluvia en la provincia de Manabí, clasificando a cada uno de los cantones según su magnitud. La presente investigación puede permitir a los administradores de la provincia tomar medidas adecuadas para mitigar los problemas relacionados con la erosión hídrica del suelo.

Palabras Clave: Erosión del suelo; erosividad de la lluvia; R Factor; Manabí.

Abstract

Soil erosion generated by rain constitutes one of the most important environmental problems worldwide, so the importance of its quantification and analysis has grown at an accelerated pace in recent years. To calculate the erosivity of rain, it is necessary to have precipitation data with high temporal resolution, which is a great limitation at the time of its analysis. The objective of this work was to analyze the spatiotemporal distribution of potential soil erosion caused by rain erosivity in the province of Manabí-Ecuador, using satellite precipitation rasters and applying an innovative method based on the Universal Loss Equation. ground. The methodology considered the distribution of the study area, the use of high-quality rainfall rasters available from international

programs, and the subsequent calculation of rainfall erosivity. The vectors of the distribution of the study area were obtained from national sources; the GPM precipitation database was obtained from the NASA web server; the calculation of the erosivity of the rain was made from a regional model. The results showed that the highest rainfall records are located in the east of the country, therefore the erosive potential of the rain was also greater. In contrast, the lowest values are located near the Pacific Ocean, to the West. Five zones were identified that correspond to a quantification of the erosive potential of rain in the province of Manabí, classifying each of the cantons according to their magnitude. The present investigation can allow the administrators of the province to take adequate measures to mitigate the problems related to water erosion of the soil.

Keywords: soil erosion; rain erosivity; R Factor; Manabí.

Resumo

A erosão do solo gerada pela chuva constitui um dos problemas ambientais mais importantes em todo o mundo, por isso a importância de sua quantificação e análise tem crescido em ritmo acelerado nos últimos anos. Para calcular a erosividade da chuva é necessário ter dados de precipitação com alta resolução temporal, o que é uma grande limitação na hora de sua análise. do solo. A metodologia considerou a distribuição da área de estudo, a utilização de rasters pluviométricos de alta qualidade disponíveis em programas internacionais e o posterior cálculo da erosividade das chuvas. Os vetores de distribuição da área de estudo foram obtidos de fontes nacionais; o banco de dados de precipitação GPM foi obtido do servidor web da NASA; o cálculo da erosividade da chuva foi feito a partir de um modelo regional. Os resultados mostraram que os maiores registros pluviométricos estão localizados na região leste do país, portanto o potencial erosivo da chuva também foi maior. Em contrapartida, os valores mais baixos situam-se junto ao Oceano Pacífico, a Oeste. Foram identificadas cinco zonas que correspondem a uma quantificação do potencial erosivo das chuvas na província de Manabí, classificando cada um dos cantões de acordo com sua magnitude. A presente investigação pode permitir aos administradores da província tomar medidas adequadas para mitigar os problemas relacionados com a erosão hídrica do solo.

Palavras-chave: erosão do solo; erosividade da chuva; Fator R; Manabí.

Introducción

La erosión del suelo es considerada como uno de los problemas ambientales más graves a nivel mundial (Hoyos, 2005). Todos los suelos son susceptibles a la erosión hídrica, lo que provoca su rápida degradación (Riquetti et al., 2020). Debido a los efectos del cambio climático, tanto la temperatura del aire (Delgado-Gutiérrez et al., 2022) como los patrones de precipitación se vuelven más impredecibles (Nearing et al., 2004), lo que intensifica la generación de medidas de prevención para la erosión del suelo. En América del Sur, los estudios relacionados a la erosión del suelo son inferiores con relación a las demás partes del mundo (Borrelli et al., 2021). Esta falta de estudios genera una gran preocupación. En especial en Ecuador, la falta de estudios de erosión del suelo es más alarmante y se centran únicamente a pequeños sectores del país y utilizan metodologías que no están acorde a la realidad del territorio (Delgado et al., 2022).

Además, en Ecuador, el clima y la geografía tienen características peculiares que generan cambios más interesantes en su climatología (Delgado et al., 2021). Las cuencas localizadas en la vertiente pacífica del Ecuador se caracterizan por tener una distribución temporal de precipitaciones más regular con relación a las cuencas de la vertiente amazónica, y se identifican dos estaciones que se extienden desde diciembre a mayo (estación húmeda) y de junio a noviembre (estación seca) (Delgado et al., 2022).

La lluvia es el factor detonante de la erosión del suelo (Lai et al., 2016; Tian et al., 2021; Delgado et al., 2022). La erosividad de la lluvia se la conoce como el Factor R y se encuentra presente en varios modelos que determinan las tasas de pérdida del suelo a nivel mundial, entre los que destacan el Universal Soil Loss Equation (USLE) y su versión revisada (RUSLE) (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). El Factor R es el mejor indicador para definir el potencial erosivo de una tormenta combinando los efectos de duración, magnitud e intensidad (Renard et al., 1991). En Ecuador, los problemas de erosión generalmente causan inestabilidades en los taludes (Macías et al., 2021; Vallecilla Ponce et al., 2022).

Para determinar la erosión del suelo es necesario contar con datos de alta resolución temporal para obtener una estimación precisa de sus resultados (Panagos et al., 2015). Sin embargo, las bases de datos en Ecuador son incompletas y carecen de precisión (Delgado et al., 2022). Para resolver este problema, Delgado et al. (2022) elaboró una ecuación que permite calcular la erosividad de la lluvia utilizando cualquier base de datos mediante una simple ecuación, y es ideal para aplicarla en la provincia de Manabí.

El objetivo de la presente investigación es determinar la erosividad de la lluvia como factor detonante de la erosión del suelo en la provincia de Manabí, mediante la utilización de información ráster satelital y la aplicación de ecuaciones provenientes de la literatura regional.

La presente investigación permitirá identificar de manera más precisa cómo la erosión del suelo se distribuye a lo largo de la provincia y facilitará la generación de modelos de control y prevención relacionados con esta problemática.

Metodología

Se determinó la zona de estudio mediante la literatura regional (bases vectoriales), empleando el Software QGIS.

La información de precipitaciones se obtuvo desde la base de datos Global Precipitation Measurement (GPM) versión 6B-Final. Esta información es generada por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), dedicados a la medición de precipitaciones. La base de datos GPM integra un sistema avanzado de radares que miden las precipitaciones desde el espacio y distribuye la información de manera gratuita de casi todo el territorio mundial. Para la presente investigación, se utilizará un rango de estudio desde el 2001 al 2020, considerando un tiempo ideal para obtener resultados de gran calidad (Delgado et al., 2022). Inicialmente, esta base de datos está disponible en formato “NetCDF” a 10 km² de resolución espacial, por lo que se utilizó el Software R con su complemento R Studio para extraer la información a formato ráster (.tif), transformarla a las coordenadas WGS84 zona 17 Sur y proyectarla a una escala espacial de 2 km² para obtener mejores detalles.

Los 20 ráster de precipitaciones de los años analizados se procesarán en un solo ráster promedio para posteriormente aplicar la ecuación de Delgado et al, (2022) (ecuación 1) que se utiliza exclusivamente para cuencas de la vertiente pacífico del Ecuador, lugar donde se localiza la provincia de Manabí:

$$\text{Factor } R = 0.0004x^2 + 0.3618x + 156.73$$

Donde:

Factor R es el índice de erosividad de la lluvia en MJ mm/ ha h (MJ es una unidad de energía equivalente a un millón de julios ó 10⁶ julios).

X es la precipitación por píxel.

La ecuación fue desarrollada mediante un modelo analítico que se basó en determinar clases de precipitaciones en intervalos pequeños para posteriormente enlazarlos con los resultados obtenidos del Factor R mediante la ecuación original de la RUSLE, permitiendo aplicar este modelo con cualquier base de datos de precipitaciones, sin la necesidad de requerir información de alta resolución temporal, principal limitante para analizar la erosividad de la lluvia en país en vías de desarrollo como Ecuador. Este modelo tuvo aproximaciones estadísticas muy buenas lo que demostró la calidad y veracidad de su empleo ($R^2=0.99$ y $p.value=99.99\%$).

Resultados y discusión

Área de estudio

Manabí es una de las 24 provincias que conforman el Ecuador. Limita al Norte con Esmeraldas, al Sur con Santa Elena, al Este con Esmeraldas, Santo Domingo y Guayas y al Oeste con el Océano Pacífico. Su capital es Portoviejo y tiene una superficie de 18940 km².

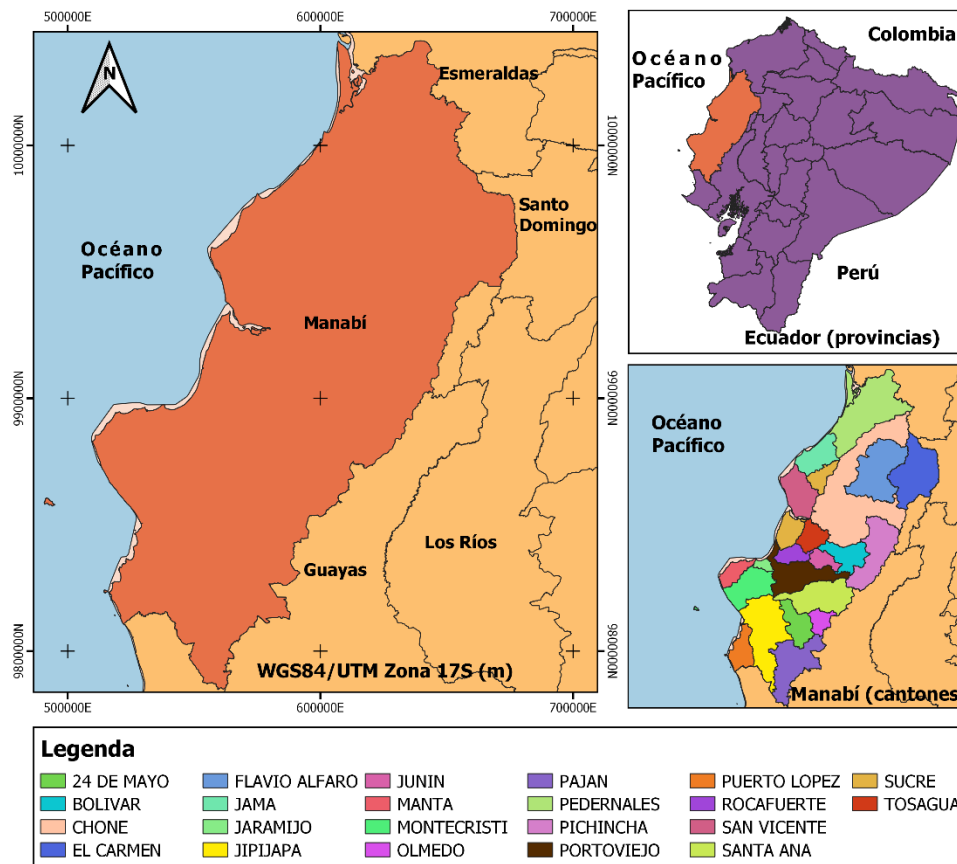


Fig. 1. Área de estudio (provincia de Manabí) Distribución espacio-temporal de las precipitaciones

La distribución espacial de precipitaciones abarcó todo el territorio de la provincia de Manabí, en un tiempo de análisis de 20 años (2001-2020; Fig. 2).

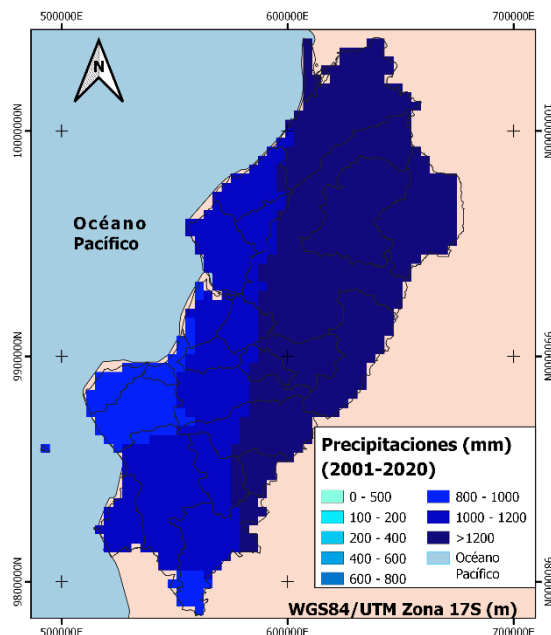


Fig. 2. Distribución espacio-temporal de la lluvia mediante la base de datos GPM (2001-2020)

Mediante el análisis de la Fig. 2 se puede observar que las precipitaciones se concentran al este de la provincia y los valores oscilaron entre 891 mm/año y 1735 mm/año, con un promedio de 1282 mm/año. Los cantones que registraron promedios superiores a 1500 mm/año fueron Chone, Flavio Alfaro, El Carmen y Pichincha.

La Fig. 2 permite identificar también que, los cantones que están más próximos al Océano Pacífico (a excepción de Pedernales), tienden a suavizar las precipitaciones, lo que puede ser producto de los efectos de las corrientes de aire que interactúan en las aguas de la costa ecuatoriana (Pourrut, 1983; Pourrut, 1994).

Distribución espacio-temporal de la erosividad de la lluvia (Factor R de la RUSLE)

La distribución espacio-temporal del Factor R puede visualizarse en la Fig. 3 a una escala espacial de 2 km².

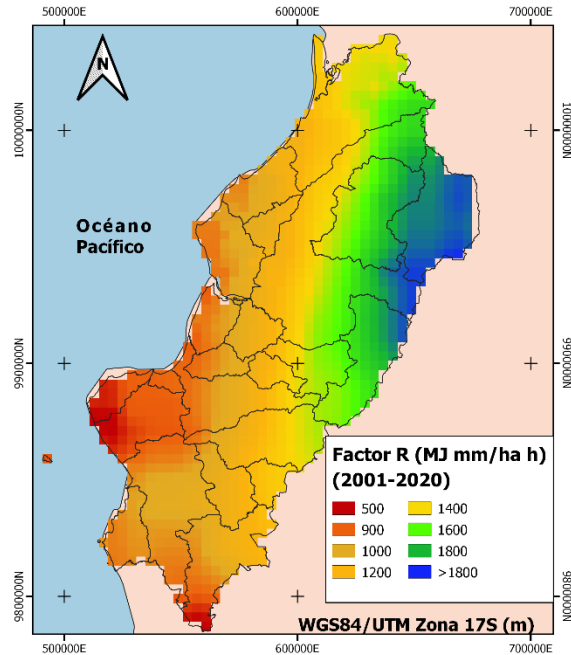


Fig. 3. Distribución espacio-temporal de la erosividad de la lluvia en la provincia de Manabí

Mediante el análisis de la Fig. 3 se puede observar que la provincia de Manabí puede ser dividida en 5 regiones dependiendo de su grado de erosión. Los valores oscilaron entre 790 MJ mm/ha h y 1988 MJ mm/ha h, con un valor promedio de 1299 MJ mm/ha h. Se puede observar que la distribución espacial del Factor R obedece a la distribución espacial de las precipitaciones, debido a que este último es el elemento condicionante de este factor.

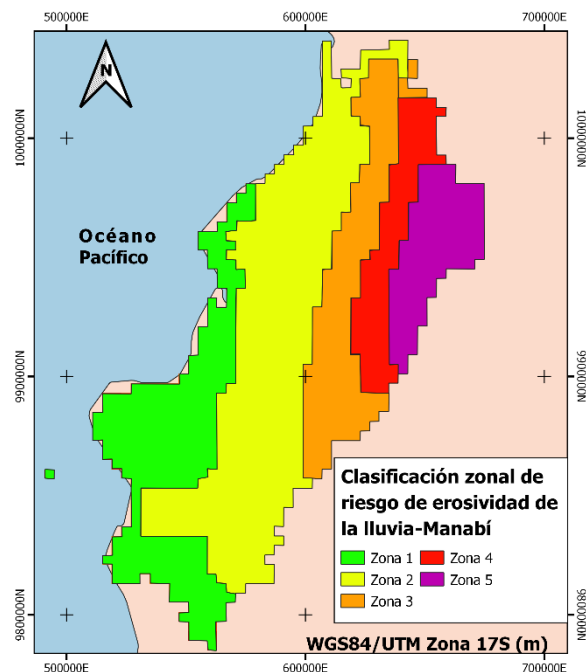


Fig. 4. Clasificación zonal de riesgo de erosividad de la lluvia en Manabí

Tabla 1. Cuantificación de la clasificación zonal de la erosividad de la lluvia en la provincia de Manabí

	Potencial erosivo	Clase erosiva
Zona	promedio (MJ ha/h a)	
1	926	Muy baja
2	1184	Baja
3	1522	Media
4	1727	Alta
5	1895	Muy alta

Mediante la Fig. 4 y Tabla 1 se puede observar la distribución por zonas del riesgo de erosividad de la lluvia en la provincia de Manabí. Las 5 zonas han sido distribuidas con base a los rangos promedios de registros del Factor R en el área de estudio. Estos resultados permiten corroborar que las zonas más próximas al océano Pacífico presentan un potencial erosivo menor, considerado

como “muy baja”, mientras que, al avanzar hacia el este del país, los valores tienden a aumentar hasta alcanzar un valor promedio de 1895 MJ ha/h a, considerado “muy alta”.

Tabla 2. Clasificación de los cantones de la provincia de Manabí según su potencial erosivo desde un enfoque de la erosividad de la lluvia (Factor R)

Cantón	Clase erosiva (según Factor R)
TOSAGUA	Baja
SUCRE	Muy baja - Baja
SANTA ANA	Baja
SAN VICENTE	Muy baja - Baja
ROCAFUERTE	Muy baja - Baja
PUERTO LOPEZ	Muy baja
PORTOVIEJO	Baja
PICHINCHA	Alta - Muy alta
PEDERNALES	Baja-Media
PAJAN	Muy baja - Baja
OLMEDO	Muy baja
MONTECRISTI	Muy baja
MANTA	Muy baja
JUNIN	Baja
JIPIJAPA	Muy baja - Baja
JARAMIJO	Muy baja
JAMA	Baja
FLAVIO	
ALFARO	Alta
EL CARMEN	Muy alta
CHONE	Alta
BOLIVAR	Media
24 DE MAYO	Baja

La Tabla 2 permite identificar el grado de potencial erosivo que presenta la lluvia en los 22 cantones de la provincia de Manabí. En esta lista destaca el cantón El Carmen, por ser la localidad que mayor potencial de riesgo erosivo presenta, seguido de Pichincha y Chone.

Estos resultados permiten determinar cómo la lluvia puede generar problemas de erosión en todo el territorio manabita, lo que puede permitir, por parte de las autoridades competentes, generar medidas de protección y mitigación para evitar los problemas que la erosión del suelo puede generar, entre los que destacan deslaves, deslizamientos, fallas de taludes, inundaciones, vaguadas, entre otras, precautelando la integridad física de los habitantes y visitantes del sector y generando una disminución de pérdidas materiales.

Conclusiones

La distribución espacio-temporal de la erosividad de la lluvia ha sido evaluado por primera vez a escala provincial en Manabí aplicando un modelo específico para la zona de estudio.

La distribución espacial de las precipitaciones, mediante un análisis temporal de 20 años, permitió identificar que mayores registros de lluvia se ubican al este de la provincia, mientras que más cerca se encuentre del Océano Pacífico, las precipitaciones tienden a disminuir hasta registrar un mínimo de 891 mm/año.

Los resultados de la erosividad de la lluvia (Factor R de RUSLE) permitió identificar que su distribución espacial corresponde a la distribución de las precipitaciones, debido a que esta última es el elemento fundamente de este factor. Se identificaron 5 clases erosivas considerando el potencial de erosión de la lluvia, categorizándolas desde muy bajo hasta muy alto. En general, el mayor porcentaje de cantones se localizó entre las zonas erosivas 1, 2 y 3.

El cantón El Carmen fue la localidad que mayores problemas erosivos presentó con respecto al potencial de la lluvia, lo que supondría que mayores problemas pueden registrarse cuando la cantidad de las precipitaciones son superiores a los registros promedio.

Se recomienda analizar las tasas de erosión del suelo considerando los demás parámetros que conforman la RUSLE, erodabilidad del suelo, uso y cobertura del suelo, longitud y pendiente y prácticas humanas, para tener una visión más precisa de lo que este problema ambiental puede causar en la provincia.

La presente investigación genera un aporte muy importante para la comunidad científica y académica a nivel nacional, permitiendo generar medidas y programas de prevención que pretendan mejorar las condiciones ambientales de la zona de estudio.

Referencias

1. Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., ... & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, 780, 146494.
2. Delgado, D., Sadaoui, M., Pacheco, H., Méndez, W., Ludwig, W. (2021). Interrelations Between Soil Erosion Conditioning Factors in Basins of Ecuador: Contributions to the Spatial Model Construction. In: , et al. *Proceedings of the 1st International Conference on Water Energy Food and Sustainability (ICoWEFS 2021)*. ICoWEFS 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_94
3. Delgado, D., Sadaoui, M., Ludwig, W., & Méndez, W. (2022). Spatio-temporal assessment of rainfall erosivity in Ecuador based on RUSLE using satellite-based high frequency GPM-IMERG precipitation data. *CATENA*, 219, 106597.
4. Delgado-Gutierrez, E., Canivell, J., Bienvenido-Huertas, D., Rubio-Bellido, C., Delgado-Gutierrez, D. (2022). Ecuadorian Social Housing: Energetic Analysis Based on Thermal Comfort to Reduce Energy Poverty. In: Rubio-Bellido, C., Solis-Guzman, J. (eds) *Energy Poverty Alleviation*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91084-6_9
5. Hoyos, N., Waylen, P. R., & Jaramillo, Á. (2005). Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of hydrology*, 314(1-4), 177-191.
6. Lai, C., Chen, X., Wang, Z., Wu, X., Zhao, S., Wu, X., & Bai, W. (2016). Spatio-temporal variation in rainfall erosivity during 1960–2012 in the Pearl River Basin, China. *Catena*, 137, 382-391.
7. Macías, L., Loor, D., Ortiz-Hernández, E., Casanova, G., Delgado, D. (2021). Comparative Analysis of Soil Slope Stability, Using Dynamic and Pseudo-static Methods on the Garrapata - Santa Maria Road, Manabi Province, Ecuador. In: , et al. *Proceedings of the 1st*

- International Conference on Water Energy Food and Sustainability (ICoWEFS 2021). ICoWEFS 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_55
8. Nearing, M. A., Pruski, F. F., & O'neal, M. R. (2004). Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *Journal of soil and water conservation*, 59(1), 43-50.
 9. Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., ... & Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511, 801-814.
 10. Pourrut, 1983. *Los Climas del Ecuador – Fundamentos explicativos*. Orstom, Quito, Ecuador (1983).
 11. Pourrut P., 1994. *Climat de l'Equateur*. In *l'eau en Equateur, principaux acquis en hydroclimatologie*, Ed. ORSTOM, 147 p.
 12. Renard, KG, GR Foster, GA Weesies y JP Porter. 1991. "RUSLE: Ecuación de pérdida de suelo universal revisada". *Revista de conservación del suelo y el agua* 46: 30 - 33.
 13. 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.
 14. Riquetti, N. B., Mello, C. R., Beskow, S., & Viola, M. R. (2020). Rainfall erosivity in South America: Current patterns and future perspectives. *Science of the Total Environment*, 724, 138315.
 15. Tian, P., Zhu, Z., Yue, Q., He, Y., Zhang, Z., Hao, F., ... & Liu, M. (2021). Soil erosion assessment by RUSLE with improved P factor and its validation: Case study on mountainous and hilly areas of Hubei Province, China. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 433-444.
 16. Vallecilla-Ponce, A. S., Delgado-Gutiérrez, D. A., & Méndez-Mata, W. J. (2022). Retrospectiva de escenarios de inundaciones en la región costera de Ecuador: Una visión de sus impactos a escala local urbana. *Dominio de las Ciencias*, 8(2).

17. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).