



*Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del  
Río Esmeraldas-Ecuador*

*Analysis of the spatial distribution of soil erodibility in the Esmeraldas-Ecuador  
River basin*

*Análise da distribuição espacial da erodibilidade do solo na bacia do rio  
Esmeraldas-Ecuador*

Auro José Fernández Párraga <sup>I</sup>  
[afernandez8752@utm.edu.ec](mailto:afernandez8752@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-0422-4098>

Ángelo Alexander Rodríguez Tejena <sup>II</sup>  
[arodriguez4479@utm.edu.ec](mailto:arodriguez4479@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-3421-5988>

Daniel Alfredo Delgado Gutiérrez <sup>III</sup>  
[daniel.delgado@utm.edu.ec](mailto:daniel.delgado@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-5251-8037>

**Correspondencia:** [mfquinonez@espe.edu.ec](mailto:mfquinonez@espe.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
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 hídrica del suelo es la causante de graves problemas ambientales a nivel mundial. El factor de erosionabilidad del suelo es uno de los parámetros más importantes para estimar la erosión hídrica mediante el modelo RUSLE. Este análisis demanda de un estudio costoso y prolongado en campo. Sin embargo, es posible utilizar datos basados en programas satelitales. El objetivo del presente estudio es analizar la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Esmeraldas. La metodología se basó en la utilización de la base datos SoilGrids para determinar las principales propiedades del suelo. Los resultados mostraron que los rangos de erodabilidad del suelo varían entre 0.4 y 0.11 t h/MJ mm en la cuenca analizada.

**Palabras Clave:** Erodabilidad del suelo; Factor K; erosión del suelo; Esmeraldas.

## Abstract

Soil water erosion is the cause of serious environmental problems worldwide. The soil erodibility factor is one of the most important parameters to estimate water erosion using the RUSLE model. This analysis requires a costly and prolonged study in the field. However, it is possible to use data based on satellite programs. The objective of this study is to analyze the spatial distribution of soil erodibility in the Esmeraldas river basin. The methodology was based on the use of the SoilGrids database to determine the main soil properties. The results showed that the soil erodibility ranges vary between 0.4 and 0.11 t h/MJ mm in the analyzed basin.

**Keywords:** Soil erodibility; K-factor; soil erosion; emeralds.

## Resumo

A erosão hídrica do solo é a causa de sérios problemas ambientais em todo o mundo. O fator de erodibilidade do solo é um dos parâmetros mais importantes para estimar a erosão hídrica usando o modelo RUSLE. Esta análise requer um estudo de campo caro e prolongado. No entanto, é possível usar dados baseados em programas de satélite. O objetivo deste estudo é analisar a distribuição espacial da erodibilidade do solo na bacia do rio Esmeraldas. A metodologia foi baseada no uso do banco de dados SoilGrids para determinar as principais propriedades do solo. Os resultados mostraram que as faixas de erodibilidade do solo variam entre 0,4 e 0,11 t h/MJ mm na bacia analisada.

**Palavras-chave:** Erodibilidade do solo; fator K; erosão do solo; esmeraldas.

## Introducción

La erosión es una de las principales causas de degradación del suelo a nivel mundial (Amundson et al., 2015; Panagos et al., 2015). Los procesos de desprendimiento, movilización y deposición de partículas minerales y orgánicas del suelo, así como sus contaminantes asociados (metales pesados y pesticidas residuales), causan contaminación de cuerpos de agua (Zhang et al., 2009). Las actividades antrópicas han aumentado los problemas de erosión en los últimos años (Villarino et al., 2017), al igual que la magnitud de los demás fenómenos climáticos (Vallecilla et al., 2022; Delgado-Gutierrez et al., 2022). En Ecuador los problemas de erosión del suelo se pueden ver reflejados en problemas de estabilización de taludes (Macías et al., 2021). Según Delgado et al. (2022), los estudios relacionados a la erosión del suelo en Ecuador son muy escasos y se aplican únicamente a pequeñas regiones del país o a factores aislados del suelo, generando incompreensión de una problemática ambiental de gran relevancia.

Varios son los modelos que se han desarrollado para estimar las tasas de erosión del suelo, entre los que destacan la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE, Wischmeier & Smith, 1978) y su versión revisada (RUSLE, Renard et al., 1997). Ambos modelos emplean factores externos que condicionan a los procesos erosivos, los cuales son: R, LS, C, K y P.

El Factor K, que corresponde a la erodabilidad del suelo, se puede calcular en función de ciertas propiedades del suelo, entre las que se destacan la distribución del tamaño de sus partículas, contenido de materia orgánica, contenido de arena, arcilla, estabilidad estructural, entre otros (Barrio et al., 2017). Generalmente, el Factor K se estima directamente en la zona de estudio, lo que demanda mucho tiempo y recursos económicos. Gracias al avance tecnológico, es posible aplicar información ráster satelital que permita determinar las propiedades del suelo de manera rápida y segura, como es el caso de la base de datos SOIL GRIDS.

Además de la poca información relacionada a la erodabilidad del suelo en Ecuador y a la falta de investigaciones aplicadas en la cuenca del río Esmeraldas, se debe considerar que Ecuador posee características muy singulares que lo diferencian de otros países, debido a las condiciones climáticas que están ajustadas a la presencia de dos polos, estar divididos por la barrera orográfica de la Cordillera de Los Andes y estar dentro de la franja intertropical, lo vuelve una zona de estudio mucho más interesante de analizar (Pourrut 1983; Pourrut 1994; Delgado et al., 2021).

El objetivo de la presente investigación es determinar la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del Río Esmeraldas, mediante la utilización de información ráster satelital y la aplicación de ecuaciones de estimación e [1] los en el modelo de análisis RUSLE.

El presente trabajo permitirá identificar los puntos más desfavorables de la cuenca de Esmeraldas con respecto a la erosión del suelo desde un enfoque de su erodabilidad, contribuyendo a la generación de medidas que permitan controlar y mitigar estos inconvenientes naturales de gran relevancia.

## Metodología

El presente trabajo inició con la determinación de la zona de estudio, la cual corresponde a la cuenca del Río Esmeraldas. Esta cuenca pertenece al grupo de las “cuencas de la vertiente Pacífico” por descargar sus aguas directamente en el Océano Pacífico. Se encuentra ubicada en el norte del país y tiene una extensión 21301 km<sup>2</sup>, siendo considerada la quinta más grande del país (Delgado et al., 2021). Dentro de sus características ambientales, la cuenca de Esmeraldas posee una elevación promedio de 1485 msnm y una pendiente promedio de 2.38° (Delgado et al., 2021). Con respecto a la frecuencia de lluvias y su parámetro [2] de erosividad, las condiciones de la cuenca de Esmeraldas la califican con un riesgo “moderado”.

La extensión de la cuenca fue delimitada mediante la literatura regional, aplicando bases de datos regionales por medio del Software QGIS.

El cálculo de la erodabilidad del suelo (Factor K de RUSLE) fue realizado mediante la ecuación de Williams (1995) que se presenta a continuación (ecuación 1):

$$K_{RUSLE} = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{org} \times f_{hisand}$$

Donde:

$K_{RUSLE}$  es el factor de erodabilidad de la lluvia.

$f_{csand}$  es un indicador que proporciona información sobre el contenido de arena, obteniéndose resultados bajos cuando el contenido de arena es gruesa y resultados altos cuando los suelos tienen poca arena (ecuación 2)

$f_{cl-si}$  es un indicador conjunto del contenido de arcilla y limo (ecuación 3)

$f_{org}$  es el contenido de carbono orgánico en los suelos (ecuación 4)

$f_{hisand}$  es el contenido alto de arena (ecuación 5)

$$f_{csand} = \left\{ 0.2 + 0.3 \times \exp \left[ -0.256 \times m_s \times \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right\}$$

$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$f_{orgc} = \left\{ 1 - \frac{0.25 \times orgC}{orgC + \exp(3.75 - 2.95 \times orgC)} \right\}$$

$$f_{hisand} = \left\{ 1 - \frac{0.7 \times \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[ -5.51 + 22.9 \times \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right\}$$

La información de las propiedades físicas del suelo junto con el contenido de carbono orgánico (SOC) fueron extraídas de la base de datos de ISRIC mediante su componente SoilGrids, la cual proporciona información de más de 200000 propiedades del suelo a nivel mundial a una resolución de 250 m (Poggio et al., 2021).

Se descargó la información de los siguientes parámetros en la capa superficial del suelo Arcilla (g/kg), arena (g/kg), limo (g/kg) y SOC [3] /kg para posteriormente transformarlo a g/kg. Posteriormente, se procesaron las imágenes [3] vitales en el Software QGIS para proyectarlo y adaptarlo a la zona de estudio. Para aplicar la ecuación 1 fue necesario convertir los 4 parámetros analizados del suelo a valor porcentual.

Los resultados del Factor K vienen expresados en t h/MJ mm y generalmente presentan valores entre 0.02 y 0.69.

## Resultados y discusión

### Área de estudio

La cuenca de Esmeraldas (Fig. 1) se ubica políticamente en la provincia de Esmeraldas, pero se extiende a las provincias de Imbabura, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Cotopaxi y Manabí. La provincia de Esmeraldas es una de las 24 divisiones políticas de este nivel que conforman Ecuador. Está situada en la región litoral o costa y su ciudad principal y capital es Esmeraldas. La provincia limita al este con [4] y Imbabura, al sur con Santo Domingo de los Tsáchilas y Manabí, al sureste con Pichincha, al norte con la Provincia de Tumaco en Colombia y al oeste y norte con el Océano Pacífico. La provincia de Esmeraldas está compuesta por 7

cantones que se caracterizan principalmente por exportar camarón y banano.

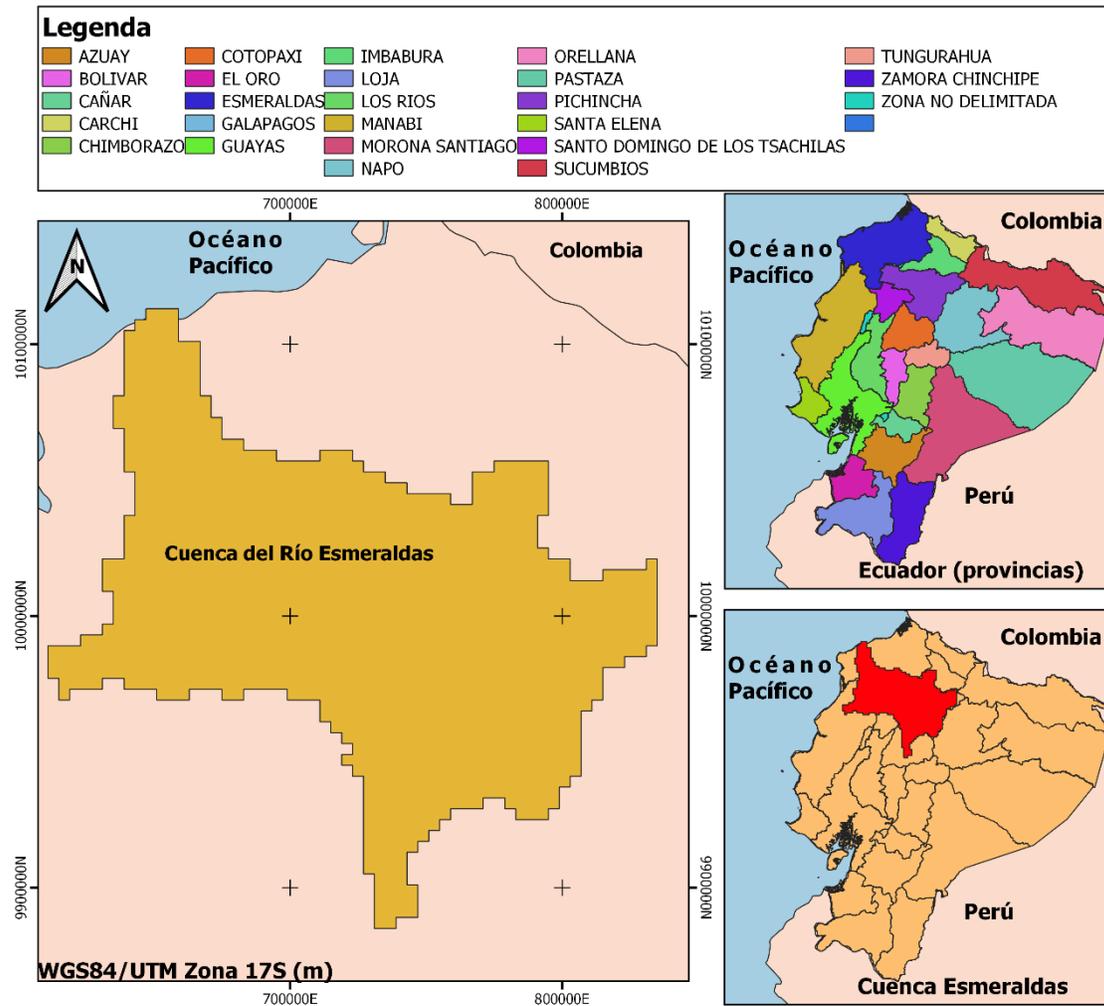
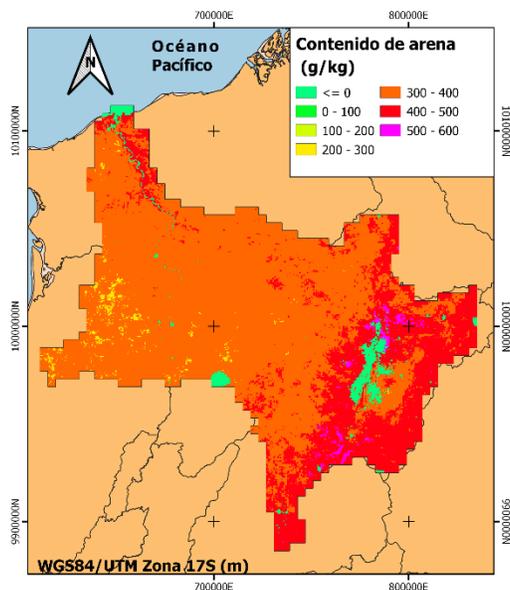


Fig. 1. Cuenca del Río Esmeraldas

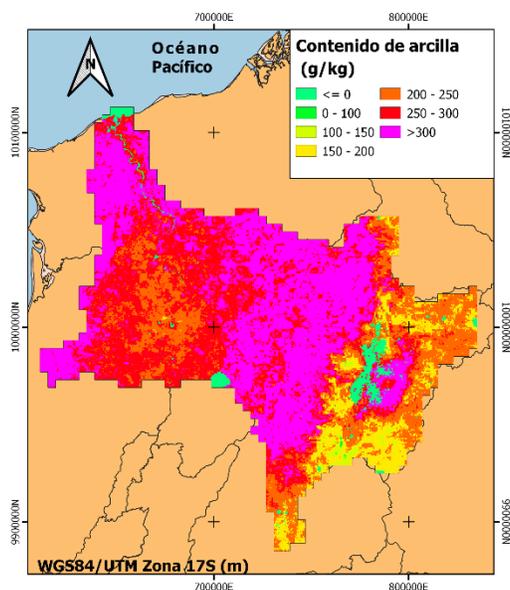
### Distribución de las propiedades del suelo

La distribución de las propiedades del suelo se obtuvo considerando su capa superficial hasta una profundidad de 5 cm a una escala espacial de 100 m<sup>2</sup>.



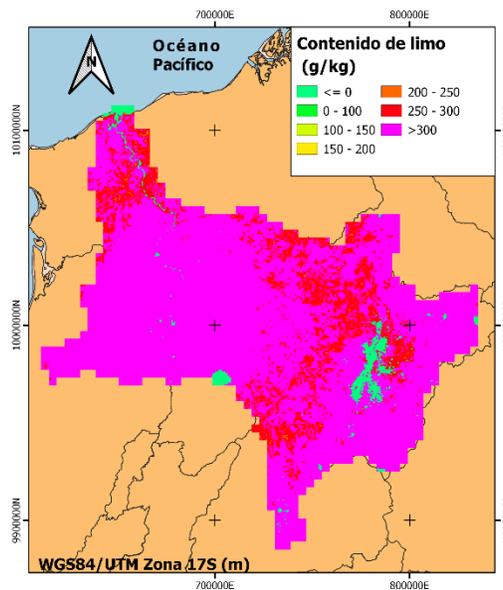
**Fig. 2.** Distribución del contenido de arena en la cuenca Esmeraldas

La Fig. 2 demuestra que mayor contenido de arena se localiza al este de la cuenca Esmeraldas y en regiones cercanas a la desembocadura con el Océano Pacífico. En esta Fig. 2 se destaca también que parte de la desembocadura registra valores muy cercanos a 0 g/kg de arena, debido a que, al estar analizando la parte superficial del suelo, la presencia de agua reemplaza esta propiedad del suelo, lo que también se puede observar en algunos cuerpos de agua que se presentan en otras secciones de la cuenca. Los valores de contenido de arena alcanzaron los 677 g/kg.



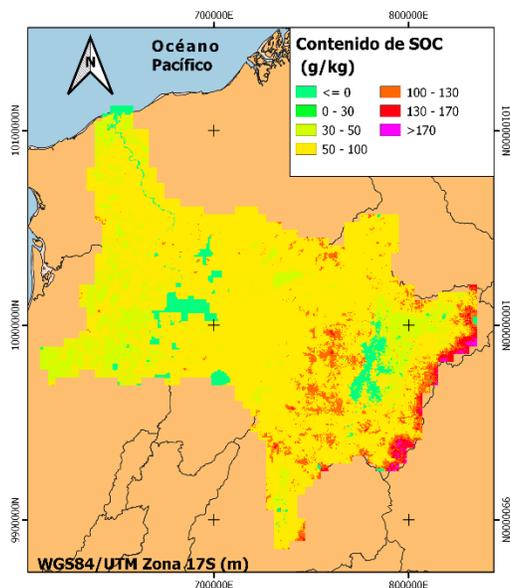
**Fig. 3.** Distribución del contenido de arcilla en la cuenca Esmeraldas

Mediante la Fig. 3 se puede observar que el contenido de arcilla es bastante elevado, alcanzando un valor promedio de 271 g/kg a nivel de cuenca. El valor máximo alcanzó 427 g/kg y se registró en varios pixeles del área de estudio, especialmente en lugares próximos a la región Sierra. Se observa también que la presencia de los cuerpos de agua limita la lectura de los parámetros físicos del suelo en las secciones correspondientes.



**Fig. 4.** Distribución del contenido de limo en la cuenca Esmeraldas

El análisis de la Fig. 4 permite determinar que el contenido de limo es superior a las propiedades físicas anteriores con relación a la composición del suelo (el SOC es una propiedad química). El valor promedio a nivel de cuenca alcanza los 334 g/kg mientras que su valor máximo supera los 480 g/kg.

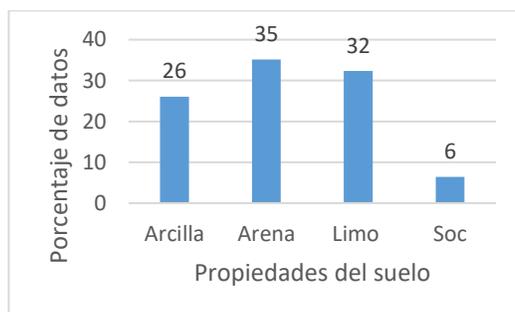


**Fig. 5.** Distribución del contenido de SOC en la cuenca Esmeraldas

La Fig. 5 permite analizar el único parámetro químico considerado en el cálculo del Factor K, el SOC. Se puede observar que el contenido de SOC es mucho menor con relación a los demás parámetros abordados, por lo que, pese a alcanzar un valor máximo de 200 g/kg en las proximidades con la Cordillera de Los Andes, su valor promedio alcanza únicamente 67 g/kg. Este componente hace referencia de que la materia orgánica concentrada en la capa superficial de la cuenca Esmeraldas es muy pobre.

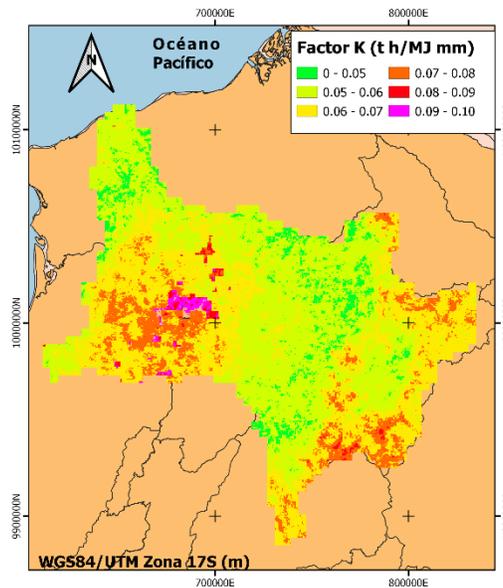
### Cálculo de la erodabilidad del suelo (Factor K)

Para determinar el Factor K mediante la ecuación 1 fue necesario distribuir en porcentajes la contribución que genera cada uno de los parámetros analizados del suelo a su composición total (Fig. 6). Estos porcentajes permitieron determinar los valores “f” de la ecuación principal.



**Fig. 6.** Distribución porcentual de las propiedades del suelo en la cuenca Esmeraldas

La Fig. 6 permite determinar que el factor más relevante en la erodabilidad del suelo de la cuenca de Esmeraldas es la arena, alcanzando el 35% de su composición total, mientras que el limo (32%) y la arcilla (26%) ocupan el segundo y tercer lugar de importancia, respectivamente. Con respecto al SOC, un alto porcentaje significaría resultados más favorables para el suelo, que se traduce en valor del Factor K más bajos, obteniendo una mayor resistencia a la erosión del suelo. Sin embargo, los valores de SOC alcanzaron únicamente el 6% de la composición total del suelo de la cuenca Esmeraldas, y esta distribución porcentual se mantiene constante en gran parte del territorio ecuatoriano (Delgado et al., 2021).



**Fig. 7.** Distribución de la erodabilidad del suelo (Factor K) en la cuenca Esmeraldas

El análisis de la Fig. 7 permite identificar que la distribución espacial del Factor K en la cuenca Esmeraldas es variado, y que los valores oscilan entre 0.04 y 0.11 t h/MJ mm, con un valor promedio de 0.06 t h/MJ mm. Se puede observar que los valores máximos se localizan principalmente en la provincia de Esmeraldas, pero el sector es compartido con las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Manabí. Además, valores altos (considerando el rango de resultados) también se visualizan en zonas altas de la cuenca.

Desde el punto de vista de magnitud de resultados, un valor máximo de 0.11 t h/MJ mm no significaría un problema de gran relevancia, si se considera únicamente este factor aislado de la

erosión del suelo. Con respecto a las cualidades de las propiedades del suelo desde el punto de vista de resistencia a la erosión, el contenido de arcilla y contenido de SOC son los que presentan mayores beneficios, mientras que el limo es considerado como la propiedad física más desfavorable frente a la erosión del suelo. Con respecto a la arena, contenidos de granos gruesos son más resistentes a la erosión.

## Conclusiones

La erodabilidad del suelo ha sido evaluada por primera ocasión en la cuenca de Esmeraldas, perteneciente a la vertiente Pacífico.

Su distribución espacial mostró una gran variabilidad, concentrando valores mayores en la provincia de Esmeraldas, en la región centro-oeste de la cuenca hidrográfica.

Los valores del Factor K tuvieron un rango de 0.04 a 0.11 t h/MJ mm, considerándose valores aceptables que no significarían un riesgo elevado frente a eventuales problemas de erosión, tomando en cuenta únicamente este factor aislado del modelo RUSLE.

Un alto contenido de arcilla (26%) y una concentración no muy elevada de limo (32%), permitieron que los valores del Factor K sean relativamente bajos.

La localidad que presentó mayores problemas de erodabilidad del suelo fue “La Unión” localizada en la provincia de Esmeraldas y muy cercana a la ciudad de “La Concordia” de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Se recomienda realizar un análisis exhaustivo de la pérdida del suelo aplicando el modelo RUSLE mediante todos sus componentes, considerando la erosividad de la lluvia, uso del suelo, parámetros de longitud y pendiente de la cuenca y las prácticas humanas, para tener un enfoque más preciso de lo que este problema ambiental puede generar en la zona de estudio.

El presente trabajo significa un insumo relevante al campo de la erosión del suelo en Ecuador, facilitando la elección de medidas de mitigación para los posibles problemas que puedan generarse

## Referencias

1. Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Sztein, A. E., & Sparks, D. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348(6235), 1261071.

2. Barrio, P. O. D., Giménez, R., & Campo-Bescós, M. Á. (2017). Assessing Soil Properties Controlling Interrill Erosion: An Empirical Approach Under Mediterranean Condition. *Land Degrad. Develop*, 28, 1729-1741.
3. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_94)
4. 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.
5. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91084-6_9)
6. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_55)
7. 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.
8. Poggio, L., De Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021). SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *Soil*, 7(1), 217-240.

9. Pourrut, 1983. Los Climas del Ecuador – Fundamentos explicativos. Orstom, Quito, Ecuador (1983).
10. Pourrut P., 1994. Climat de l'Equateur. In l'eau en Equateur, principaux acquis en hydroclimatologie, Ed. ORSTOM, 147 p.
11. 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.
12. 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).
13. Villarino, S. H., Studdert, G. A., Baldassini, P., Cendoya, M. G., Ciuffoli, L., Mastrángelo, M., & Piñeiro, G. (2017). Deforestation impacts on soil organic carbon stocks in the Semiarid Chaco Region, Argentina. *Science of the total environment*, 575, 1056-1065.
14. 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.
15. Zhang, G. H., Tang, M. K., & Zhang, X. C. (2009). Temporal variation in soil detachment under different land uses in the Loess Plateau of China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(9), 1302-1309

© 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/>).