



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i1.3777>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río
Portoviejo-Ecuador***

***Analysis of the spatial distribution of soil erodibility in the Portoviejo-Ecuador
river basin***

***Análise da distribuição espacial da erodibilidade do solo na bacia do rio Portoviejo-
Equador***

Luis Fernando Rodríguez Pinargote ^I
lrodriguez4476@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-1125-2009>

Jhon Humberto Pico Quijije ^{II}
jpico5688@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-7109-3111>

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

Correspondencia: lrodriguez4476@utm.edu.ec

***Recibido:** 30 de enero de 2024 ***Aceptado:** 10 de febrero de 2024 ***Publicado:** 16 de marzo de 2024

- 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 es un fenómeno natural que afecta a todo el mundo, pero sus efectos se ven intensificados en las regiones menos desarrolladas. Estimar la erodabilidad del suelo es un factor fundamental para determinar la pérdida del suelo mediante el enfoque RUSLE. El objetivo principal de la presente investigación es analizar la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo. La metodología consistió en identificar la cantidad de arcilla, limo y arena como propiedades físicas del suelo y la cantidad de carbono orgánico como propiedad química, considerando únicamente el perfil superficial del suelo. Se utilizó la base de datos satelital SoilGrids para estimar las propiedades del suelo en la cuenca de estudio. Los resultados mostraron valores muy bajos del Factor K que representaría una buena protección del suelo ante un eventual proceso erosivo tomando en cuenta este factor aislado de la erosión del suelo.

Palabras Claves: Cuenca Portoviejo; erodabilidad; erosión del suelo; Factor K; imagen satelital.

Abstract

Soil erosion is a natural phenomenon that affects everyone, but its effects are intensified in less developed regions. Estimate soil erodibility as a key factor in determining soil loss using the RUSLE approach. The main objective of this research is to analyze the spatial distribution of soil erodibility in the Portoviejo River basin. The methodology consisted of identifying the amount of clay, silt and sand as physical properties of the soil and the amount of organic carbon as a chemical property, considering only the surface profile of the soil. The SoilGrids satellite database was used to estimate soil properties in the study watershed. The results showed very low values of the K Factor that would represent good protection of the soil against an eventual erosive process, taking into account this factor isolated from soil erosion.

Keywords: Portoviejo Basin; erodibility; soil erosion; K factor; satelital image.

Resumo

A erosão do solo é um fenómeno natural que afecta todas as pessoas, mas os seus efeitos são intensificados nas regiões menos desenvolvidas. Estimar a erodibilidade do solo como fator chave na determinação da perda de solo usando a abordagem RUSLE. O objetivo principal desta pesquisa é analisar a distribuição espacial da erodibilidade do solo na bacia do rio Portoviejo. A metodologia

Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador

consistió en identificar a la cantidad de arcilla, limo y arena como propiedades físicas del suelo y a la cantidad de carbono orgánico como propiedad química, considerando apenas el perfil superficial del suelo. El banco de datos del satélite SoilGrids fue utilizado para estimar las propiedades del suelo en la cuenca hidrográfica en estudio. Los resultados mostraron valores muy bajos del Factor K que representarían una buena protección del suelo contra un eventual proceso erosivo, llevando en consideración este factor aislado a la erosión del suelo.

Palabras-clave: Cuenca de Portoviejo; erodabilidad; erosión del suelo; Factor K; imagen de satélite.

Introducción

Una combinación adecuada de suelo y agua son los ingredientes clave para la producción de alimentos (Castillo et al., 2007). Sin embargo, la erosión del suelo amenaza la seguridad alimentaria y el agua es el elemento más importante de la erosión, causando degradación de la tierra (De Vente et al., 2013). La erosión hídrica es un proceso natural que afecta a las propiedades ambientales, orgánicas, físicas y químicas del suelo, reduciendo su productividad y contaminando cuerpos de agua (Delgado et al., 2023; Párraga et al., 2023). Los efectos erosivos son intensificados por actividades antrópicas como procesos urbanísticos, construcción de carreteras, minería, entre otros (Aslam et al., 2021) así como factores condicionantes ambientales tales como la elevación y pendiente (Delgado et al., 2024). La evaluación precisa de la erosión del suelo es fundamental para prevenir la erosión y permite la obtención de prácticas sostenibles de gestión de la tierra y el agua (Lei et al., 2020).

Para estimar la erosión del suelo existen más de 400 metodologías que han sido implementadas a nivel mundial (Borrelli et al., 2021). Sin embargo, no todas las metodologías son aplicables a todas las regiones del país (Delgado et al., 2023).

La Ecuación Universal de pérdida del suelo (USLE) y su versión revisada (RUSLE) destacan por sus excelentes resultados para estimar las tasas de erosión (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). Estos modelos matemáticos emplean 5 factores que condicionan los procesos de erosión del suelo, incluyendo la erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y pendiente (LS), uso y cobertura del suelo (C) y prácticas agrícolas (P).

La erodabilidad del suelo, conocido como el Factor K en el modelo RUSLE, se estima directamente en la zona de estudio, demandando mucho tiempo y recursos económicos (Párraga et al., 2023). Sin embargo, gracias a los avances de la tecnología de teledetección, es posible determinarlo utilizando

Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador

metodologías satelitales. Para esto, es necesario calcular ciertas propiedades del suelo, tales como contenido de arena, arcilla, limo y carbono orgánico (Barrio et al., 2017).

Ecuador es un país singular que posee condiciones climáticas muy distintas de los demás países del mundo, debido a la existencia de la Cordillera de Los Andes, la presencia de la franja intertropical, la aparición de dos polos, entre otros (Pourrut, 1983; Pourrut, 1994; Delgado et al., 2021, Mendoza et al., 2023; Jiménez et al., 2014). Estas particularidades junto a la falta de investigaciones aplicadas a la cuenca del río Portoviejo, aumentan la importancia de la implementación de la presente investigación.

Por este motivo, el objetivo principal del presente trabajo es analizar la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador, empleando bases de datos satelitales y aplicando la ecuación RUSLE.

La información obtenida permitirá identificar puntos críticos de la cuenca del río Portoviejo considerando una eventual erosión del suelo desde una perspectiva de su erodabilidad, lo que contribuirá a la elaboración de estrategias de mitigación que permitan hacer frente a los desastres que puede generar este fenómeno natural.

Metodología

La cuenca del río Portoviejo se encuentra ubicada en la Provincia de Manabí, en la región costera del Ecuador. La extensión de esta cuenca hidrográfica es de 1905 km², una elevación promedio de 194 m y una pendiente promedio de 0.81° (Delgado et al., 2021, Véliz et al., 2023). Se encuentra ubicada al sur de Manabí y limita al norte con la cuenca Chone, al Sur con las cuencas Guayas y Ayampe, al Este con las cuencas Chone y Guayas y al Oeste con el Océano Pacífico y la cuenca Caña. Es considerada parte del grupo de las “Cuenca de la vertiente Pacífico” según Delgado et al. (2022).

La delimitación de la cuenca se obtuvo mediante la literatura regional (Delgado et al., 2021), empleando el software QGIS (Fig. 1).

Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador

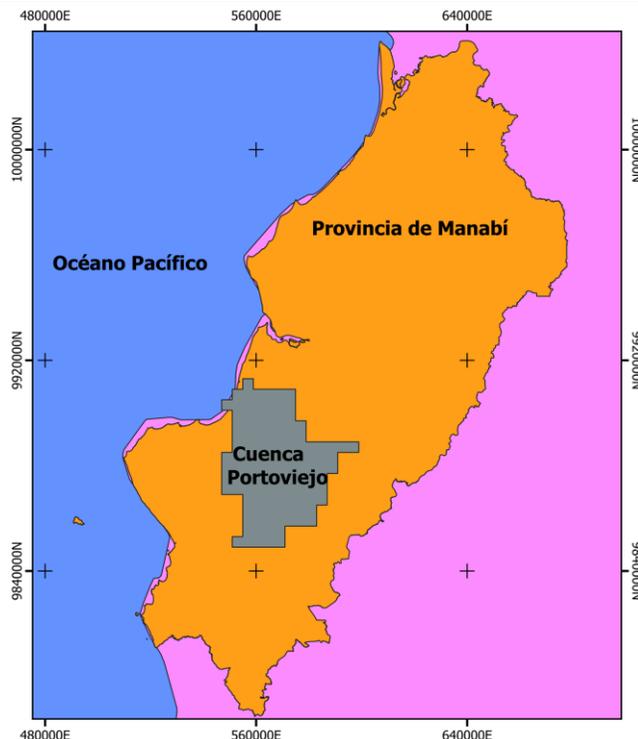


Fig. 1. Identificación de la cuenca del Río Portoviejo en la provincia de Manabí

Para calcular la erodabilidad del suelo empleando metodologías satelitales se procederá a emplear la ecuación de Williams (1995, Ec.1). Esta ecuación ha sido validada a nivel nacional en Ecuador (Delgado et al., 2023) y a nivel de cuencas (Párraga et al., 2023).

$$K_{RUSLE} = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{org} \times f_{hisand} \quad [1]$$

Donde:

K_{RUSLE} corresponde al factor de erodabilidad de la lluvia en el modelo RUSLE.

F_{csand} corresponde a un indicador que proporciona información sobre el contenido de arena, obteniéndose resultados bajos cuando el contenido de arena y gruesa y resultados altos cuando los suelos tienen poca arena (Ec. 2)

F_{cl-si} corresponde a un indicador conjunto del contenido de arcilla y limo (Ec. 3)

F_{orgc} corresponde al contenido de carbono orgánico en los suelos (Ec. 4)

F_{hisand} corresponde al contenido alto de arena (Ec. 5)

$$f_{csand} = \left\{ 0.2 + 0.3 \times \exp \left[-0.256 \times m_s \times \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right\} \quad [2]$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad [3]$$

$$f_{orgc} = \left\{ 1 - \frac{0.25 \times orgC}{orgC + \exp(3.75 - 2.95 \times orgC)} \right\} \quad [4]$$

$$f_{hisand} = \left\{ 1 - \frac{0.7 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right\} \quad [5]$$

Para obtener las propiedades físicas del suelo (contenido de arcilla, arena y limo) junto a la propiedad orgánica (contenido de carbono orgánico o SOC) se empleó la base de datos de ISRIC mediante el módulo de SoilGrids (<https://soilgrids.org/>). Esta base de datos está compuesta por más de 200000 propiedades del suelo a nivel mundial, con una resolución muy fina de 250 m (Poggio et al., 2021). Considerando esta base de datos satelital, se extrajo la información de arcilla, arena y limo en g/kg, mientras que el contenido de SOC se obtuvo en dg/kg (que posteriormente debe transformarse a g/kg para realizar un procedimiento homogéneo).

Una vez obtenidos los contenidos de cada propiedad del suelo necesaria para calcular el Factor K, se procedió a re proyectar los archivos ráster al sistema de coordenadas WGS84 zona 17 Sur (correspondiente a la zona de estudio) y adaptarlo a las condiciones de la presente investigación.

Cabe recalcar que, para aplicar la Ec. 1, se convirtieron los 4 parámetros considerados de las propiedades del suelo a valores porcentuales a nivel de píxel (cada píxel fue distribuido en porcentajes de arena, arcilla, limo y SOC).

Generalmente, los resultados de la erodabilidad del suelo suelen encontrarse entre 0.02 y 0.69 t h/MJ mm. Estos resultados fueron analizados para analizar la vulnerabilidad ante una eventual erosión del suelo desde un enfoque a la erodabilidad.

Resultados y discusión

Distribución de las propiedades del suelo

El análisis de las propiedades del suelo se obtuvo considerando la clasificación de su capa superficial, que corresponde a una profundidad de 0 cm a 5 cm, con una escala espacial de 100 m².

Contenido de Carbono Orgánico (SOC)

El contenido de carbono orgánico en el suelo es un indicador importante de su salud y calidad. Refleja la cantidad de materia orgánica presente en la capa superior del suelo y proporciona información valiosa sobre varios aspectos del ecosistema terrestre. Un contenido elevado de SOC demuestra una mayor resistencia ante una eventual erosión.

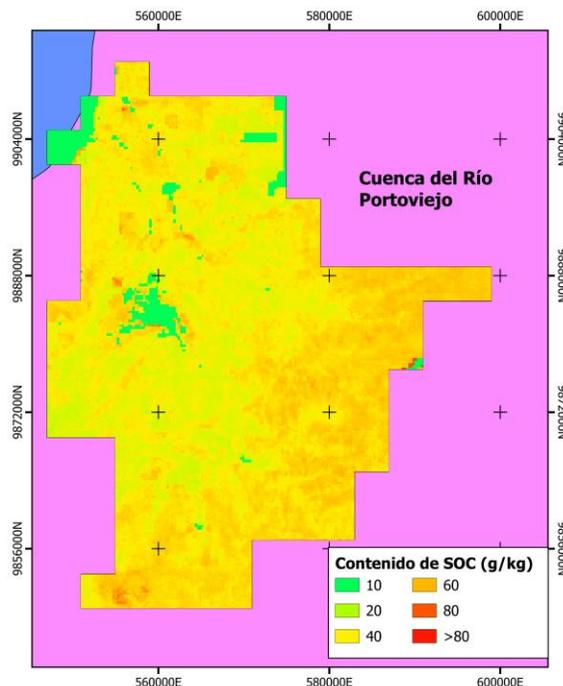


Fig. 2. Contenido de SOC en la cuenca del río Portoviejo

Analizando la Fig. 2, se puede observar que el contenido de carbono orgánico en la cuenca del río Portoviejo oscila entre 0 y 103.60 g/kg a nivel de píxel, con un valor promedio de 40.80 g/kg. Los valores más elevados de SOC y, por ende, los más favorables ante una eventual erosión hídrica del suelo, se encuentran ubicados al este de la cuenca Portoviejo, cerca del sector Honorato Vásquez, muy próximo a las inmediaciones de la represa Poza Honda. Al contrario, los valores más bajos de SOC en la cuenca del río Portoviejo se localizan principalmente en las cercanías con el Océano Pacífico, entre las localidades de Crucita y Salinas (Manabí). Así también, valores más bajos de SOC se registran en la zona urbana de la ciudad de Portoviejo, lo que es producto de las edificaciones de la ciudad.

Contenido de Limo

El contenido de limo en el suelo es uno de los componentes texturales del suelo y se refiere al tamaño de las partículas presentes en la matriz del suelo. El contenido de limo puede tener varias implicaciones y reflejar diferentes características y propiedades del suelo.

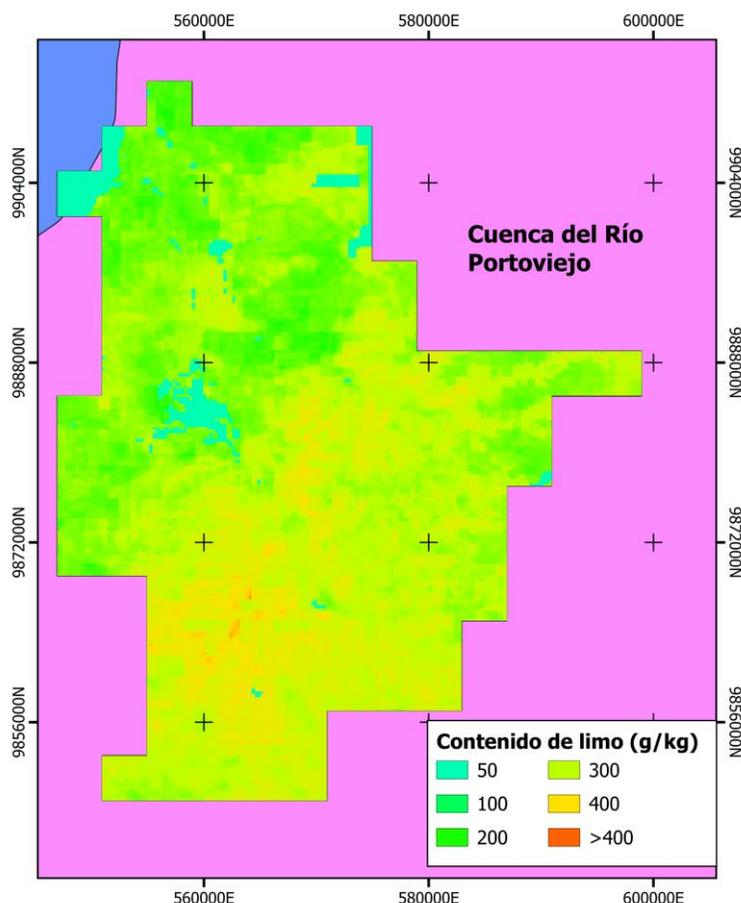


Fig. 3. Contenido de limo en la cuenca del río Portoviejo

Mediante el análisis de la Fig. 2, se puede observar que la cuenca del río Portoviejo registra contenidos de limo a nivel de píxel que oscilan entre 0 y 457 g/kg, con un valor promedio de 284.74 g/kg. Los valores más altos se localizan en la zona media/baja de la cuenca hídrica, en sectores muy próximos a la localidad de Santa Ana. Los valores más bajos coinciden en gran porcentaje con los valores más bajos de SOC, que se localizan principalmente cerca de las inmediaciones del Océano Pacífico.

Contenido de Arena

El contenido de arena en el suelo es uno de los componentes texturales que influyen en sus propiedades físicas y químicas. Influye en el drenaje del agua y en la capacidad de retención del suelo.

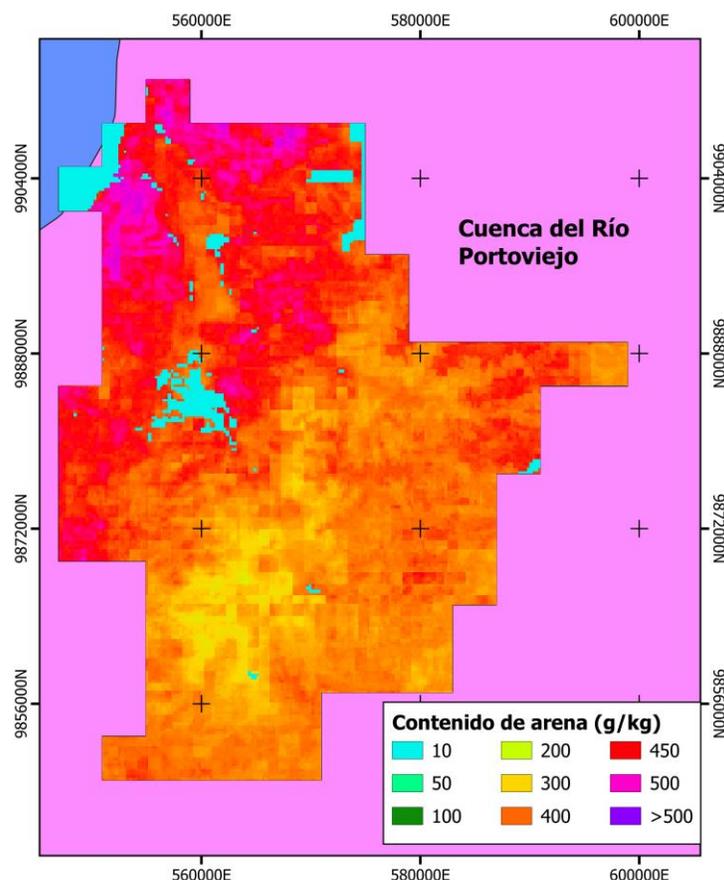


Fig. 4. Contenido de arena en la cuenca del río Portoviejo

La Fig. 4 demuestra que los mayores contenidos de arena se concentran al oeste de la cuenca Portoviejo, regiones cercanas a la desembocadura con el Océano Pacífico. Por tanto, los contenidos de arena disminuyen mientras los píxeles se alejan del mar. Los valores de contenido de arena alcanzaron los 541 g/kg, desde Crucita hasta Rocafuerte, mientras que los valores más bajos llegaron a 0 g/kg y se ubicaron en diversos sectores de la zona de estudio. El valor medio fue de 386.46 g/kg.

Contenido de Arcilla

El contenido de arcilla en el suelo es otro componente textural crucial que influye en sus propiedades físicas y químicas (Macías et al., 2021). También influye en la retención del agua, fertilidad del suelo y, por ende, la erosión.

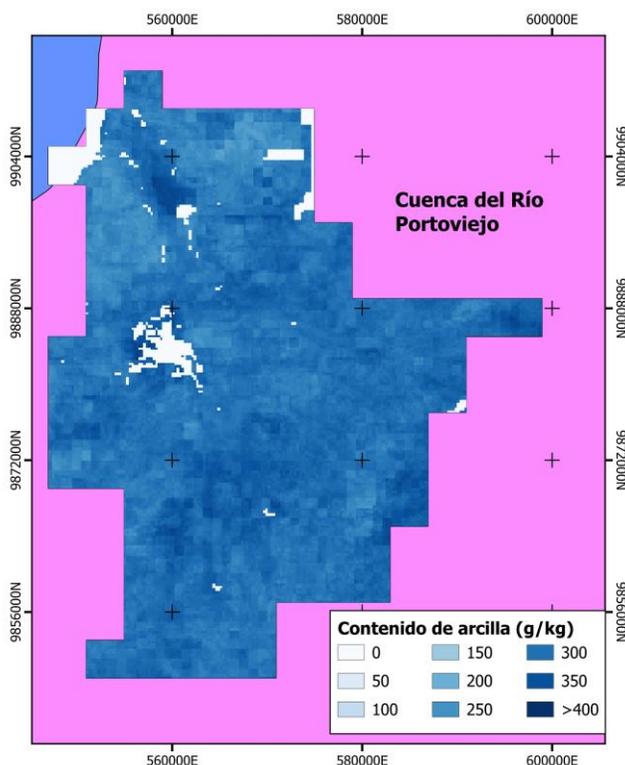


Fig. 5. Contenido de arcilla en la cuenca del río Portoviejo

La Fig. 5 permite identificar que los contenidos de arcilla más bajos se localizan cerca del océano Pacífico y de pequeños cuerpos de agua en la cuenca del río Portoviejo. Los contenidos de arcilla se registraron entre 0 g/kg y 396 k/g. Los valores más altos se situaron en el sector Cañitas hasta la ciudad de Rocafuerte. El valor medio del contenido de arcilla fue de 289.61 g/kg.

Análisis de la erodabilidad del suelo (Factor K) en la cuenca del río Portoviejo

El análisis de la erodabilidad del suelo, a través del factor K en la ecuación de RUSLE (por sus siglas en inglés: Revised Universal Soil Loss Equation), es importante para comprender y prevenir la erosión del suelo. La erodabilidad del suelo se refiere a la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado por el agua, y el factor K es una medida clave en la estimación de la pérdida de suelo debida a la erosión hídrica.

Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador

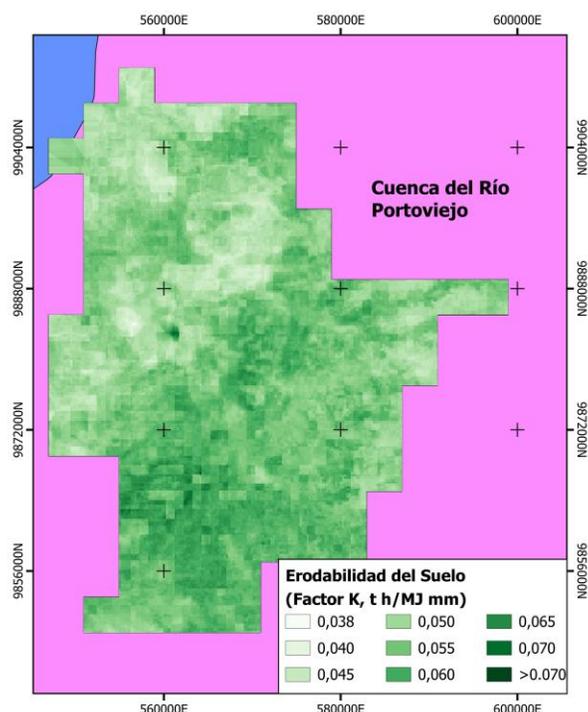


Fig. 6. Distribución espacial de la erodabilidad del suelo (Factor K de RUSLE) en la cuenca del río Portoviejo

Mediante el análisis de la Fig. 6 se puede identificar que la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca de Portoviejo no presenta una gran variación, producto de una distribución muy similar entre las 3 propiedades físicas del suelo y solo registrando valores más distantes en el contenido de SOC. Desde este enfoque, el contenido de arcilla fue ligeramente superior, seguido del contenido de arena, contenido de limo y, finalmente, contenido de SOC. Los contenidos elevados de arcilla se asocian a una buena característica del suelo frente a una eventual erosión, lo que se traduce a una mayor protección frente a la pérdida del suelo (Delgado et al., 2023).

Es por esto que, los valores del Factor K en la cuenca del río Portoviejo se registraron entre 0.037 y 0.073 t h/MJ mm, con un valor promedio de 0.054 t h/MJ mm. Se puede apreciar que los valores más altos de erodabilidad (menos favorables) se registran en varios píxeles de la zona de estudio, especialmente en la zona urbana de la ciudad de Portoviejo, producto de los valores más bajos de SOC y arcilla en esta zona en particular. Los valores más bajos (y más favorables) se registran en

Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador

zonas más próximas al océano, tomando en consideración las zonas centro-norte y centro-oeste de la cuenca del río Portoviejo.

Considerando que los rangos promedios del Factor K fluctúan entre 0.02 y 0.69 t h/MJ mm (Delgado et al., 2023; Casanova-Ruiz et al., 2024), los valores obtenidos en la cuenca de estudio son coherentes y válidos. Desde este punto de vista, una magnitud máxima de 0.073 t h/MJ mm no representaría un problema relevante ante un eventual fenómeno erosivo provocado por la lluvia, considerando únicamente a la erodabilidad del suelo como factor aislado de la erosión. Estos resultados positivos son producto principalmente de una distribución muy regular de las propiedades físicas del suelo, donde destacan contenidos altos de arcilla y porcentajes altos de arena gruesa (más resistentes a la erosión).

Conclusiones

Se ha realizado el análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo como factor aislado de la erosión hídrica por primera ocasión en la cuenca del río Portoviejo. La distribución espacial del Factor K mostró una baja variabilidad, producto de una distribución muy regular entre sus tres propiedades físicas (arena, arcilla y limo). Estos valores se registraron en un rango comprendido entre 0.037 y 0.073 t h/MJ mm, con un valor promedio de 0.054 t h/MJ mm. Los valores más elevados se registraron en la zona urbana de la ciudad de Portoviejo, mientras que valores más bajos se registran en sectores de la cuenca cercanos hacia el Océano Pacífico al norte y oeste, respectivamente.

En general, los valores bajos de la erodabilidad del suelo permiten identificar que, ante una eventual erosión, la zona de estudio presentaría una mayor protección y los daños serían muy reducidos, considerando únicamente al Factor K como parámetro aislado de la erosión del suelo. Sin embargo, es importante realizar un análisis integral de todos los componentes que conforman el modelo RUSLE con la finalidad de generar un enfoque más preciso que permite identificar sectores más vulnerables frente a una pérdida del suelo.

La presente investigación proporciona información relevante que podrá facilitar la generación de programas de protección y mitigación para hacer frente al fenómeno natural de la erosión hídrica del suelo por parte de las entidades de control competentes.

Referencias

- Aslam, B., Maqsoom, A., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Jabbar, T., & Zafar, A. (2021). Soil erosion susceptibility mapping using a GIS-based multi-criteria decision approach: Case of district Chitral, Pakistan. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1637-1649.
- Casanova-Ruiz, G., Delgado, D., & Panchana, R. (2024). Estimación de volúmenes de sedimentos por erosión hídrica empleando el modelo RUSLE en cuencas de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Teledetección*, (63), 1-21.
- Castillo, V. M., Mosch, W. M., García, C. C., Barberá, G. G., Cano, J. N., & López-Bermúdez, F. (2007). Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). *Catena*, 70(3), 416-427.
- 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.
- 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.
- 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
- 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.

Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador

- Delgado, D., Sadaoui, M., Ludwig, W., & Mendez, W. (2023). Depth of the pedological profile as a conditioning factor of soil erodibility (RUSLE K-Factor) in Ecuadorian basins. *Environmental Earth Sciences*, 82(12), 286.
- Delgado, D., Sadaoui, M., Ludwig, W., & Méndez, W. (2024). DEM spatial resolution sensitivity in the calculation of the RUSLE LS-Factor and its implications in the estimation of soil erosion rates in Ecuadorian basins. *Environmental Earth Sciences*, 83(1), 36.
- De Vente, J., Poesen, J., Verstraeten, G., Govers, G., Vanmaercke, M., Van Rompaey, A., ... & Boix-Fayos, C. (2013). Predicting soil erosion and sediment yield at regional scales: where do we stand?. *Earth-Science Reviews*, 127, 16-29.
- Jimenez, E., Murillo, A., & Delgado, D. (2024). Análisis comparativo de bases de datos de precipitaciones para la provincia de Manabí. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(1), 273-287.
- Lei, X., Chen, W., Avand, M., Janizadeh, S., Kariminejad, N., Shahabi, H., ... & Mosavi, A. (2020). GIS-based machine learning algorithms for gully erosion susceptibility mapping in a semi-arid region of Iran. *Remote Sensing*, 12(15), 2478.
- 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
- Mendoza, E. F. M., Arteaga, E. A. G., & Delgado, D. (2023). La erosividad de la lluvia como factor condicionante de la erosión hídrica en Manabí. *Polo del Conocimiento*, 8(2), 68-81.

Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río Portoviejo-Ecuador

- Párraga, A. J. F., Tejena, Á. A. R., & Gutiérrez, D. A. D. (2023). Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del Río Esmeraldas-Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(2), 82-95.
- 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.
- 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
- Renard, K. G. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Véliz, M. A. M., Guillen, P. A. F., & Delgado, D. (2023). Evaluación espacio-temporal del factor C de la Rusle entre las cuencas del río Portoviejo y Chone. *Dominio de las Ciencias*, 9(3), 1300-1315.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. Agricultural Handbook 537. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture