

EFFECTOS DE LAS ESCALAS ESPACIO - TEMPORALES SOBRE LOS FACTORES R Y LS DEL MODELO RUSLE

Juan Daniel Ríos¹, Lilian Posada² y Humberto Caballero²

¹ Universidad Nacional de Colombia y Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia.

² Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

E-mail: judriosar@unal.edu.co, lposada@unal.edu.co, jhcaball@unal.edu.co

Introducción

En el presente trabajo investigativo se analizan los efectos de las escalas espacio - temporales de los datos base para el cálculo de los factores R (erosividad de la lluvia) y LS (longitud e inclinación de las laderas) del modelo RUSLE - Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada, presentada por Renard et al. (1997), el cual es un modelo de predicción de pérdida de suelo promedio anual (A, en ton/ha/año), que conserva los seis factores originales del modelo USLE (Wischmeier y Smith, 1978).

A pesar de que el modelo RUSLE incorpora nuevas maneras de cálculo de los factores y el análisis de nuevos datos de calibración y validación que extienden el rango de aplicación del modelo original, al aplicarlo a escala de cuenca en el noroccidente de Colombia se ha encontrado una fuerte dependencia de los resultados a la escala o resolución temporal de los datos de precipitación para el caso del cálculo del factor de erosividad de la lluvia (R) y una fuerte dependencia a la escala o resolución espacial de los datos topográficos para el caso del cálculo del factor LS.

Zona de estudio

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionaron las cuencas hidrográficas de los ríos Grande (1279.86 km²) y San Andrés (498.21 km²), ubicadas al noroccidente de Colombia (Figura 1), las cuales se encuentran sobre la cordillera central de los Andes que sirve de divisoria a los ríos Cauca y Magdalena, los dos principales drenajes colombianos en la cuenca Caribe.

Las cuencas presentan marcadas diferencias climáticas, litológicas y geomorfológicas (Tabla 1). La cuenca del río Grande suministra parte del recurso hídrico empleado por la población asentada en el Valle de Aburrá que para el año 2015 se estimaba en 3.597.988 habitantes. La cuenca del río San Andrés aporta sus caudales directamente al futuro embalse del proyecto hidroeléctrico Ituango, sobre el río Cauca, el cual será la central con mayor capacidad instalada en el país (2400 MW).

Tabla 1.- Parámetros de las cuencas de los ríos Grande y San Andrés.

Parámetro/Cuenca	Río Grande	Río San Andrés
Pendiente media [%]	22.99	40.18
Precipitación media [mm/año]	1884.28	2664.79
Rocas dominantes	Ígneas	Metamórficas
Longitud cauce principal [km]	99.00	43.26

El río Grande, también drena sus aguas al río Cauca pero después de pasar por el Proyecto de Aprovechamiento Múltiple Riogrande II, para entregar al río Medellín luego llamado río Porce y finalmente Nechí cuando entrega al río Cauca unos 210 kilómetros aguas abajo de la descarga del río San Andrés.

Metodología

Se realizó el cálculo del campo del factor de erosividad de la lluvia (R) empleando el modelo potencial propuesto por Pérez y Mesa (2002) en función de la precipitación media multianual,

expresión que fue desarrollada a partir de las estimaciones de erosividad con datos de precipitación a resolución temporal de 22.5 minutos en seis estaciones.

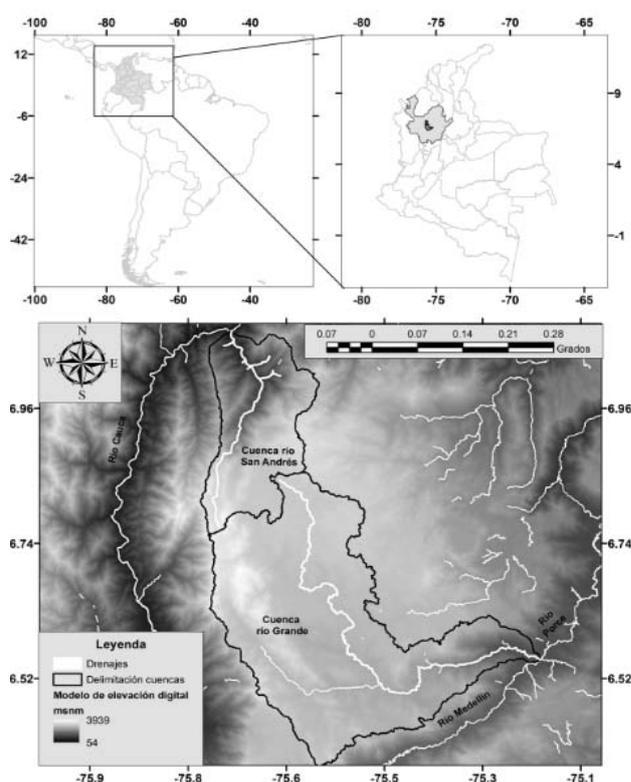


Figura 1.- Localización del área de estudio.

Con el fin de comparar el campo estimado, se usaron datos de precipitación a resolución temporal de 15 minutos del registro de once estaciones (información suministrada por el Grupo Empresas Públicas de Medellín, EPM), para generar un nuevo modelo de tipo lineal para el cálculo del factor de erosividad en función de la precipitación media multianual. Es necesario indicar que los valores de erosividad media anual calculados para el periodo 2002-2009 presentan un valor promedio de 4176.49 MJ-mm/ha-h-año que es consistente con el orden de magnitud de los valores reportados por Hoyos et al. (2005) para la zona cafetera Colombiana, Yin et al. (2015), para el Altiplano de loess en China, Panagos et al. (2015) para el continente europeo y Panagos et al. (2017) a escala global.

Para la evaluación de los factores de longitud (L) e inclinación (S) de las laderas (Figuras 2 y 3) que en conjunto forman el factor topográfico (LS) se emplearon datos obtenidos de tres modelos de elevación digital (DEM) diferentes a escalas de 1:100,000, 1:25,000 y 1:10,000 (tamaños de pixel de 30, 12.5 y 1 m respectivamente).

El cálculo del factor topográfico (LS) para toda el área de estudio en escalas 1:100,000 y 1:25,000 se realizó mediante el programa en C++ desarrollado por Van Remortel et al. (2004), el cual es mucho más eficiente para el procesamiento de datos espaciales que su predecesor, el programa en AML (Arc Macro Language) desarrollado por Van Remortel et al. (2001) y

algunos de los algoritmos incluidos en el paquete Whitebox GAT desarrollado por el Dr. John Lindsay del departamento de Geografía de la universidad de Guelph (Guelph, ON, Canada).



Figura 2.- Aspecto de las laderas en la cuenca alta del río Grande, fotografía de Juan Daniel Ríos.



Figura 3.- Aspecto de las laderas en la cuenca alta del río San Andrés, fotografía de Juan Daniel Ríos.

Para la escala 1:10,000 (modelo de elevación digital con resolución radiométrica de 32 bits) se seleccionó una subcuenca correspondiente a la quebrada Bramadora, la cual no presentaba datos nulos y por su pequeña extensión permitió ser procesada con los recursos computacionales disponibles.

Resultados

El factor de erosividad de la lluvia (R) estimado a partir del modelo potencial propuesto por Pérez y Mesa (2002) para toda la zona de estudio, tiene un valor medio anual de 56.33 MJ-mm/ha-h-año, siendo este muy inferior al valor medio calculado con los datos de precipitación a resolución de 15 minutos en las once estaciones utilizadas en el presente estudio.

Empleando el modelo de tipo lineal (Figura 4) desarrollado por Ríos (2018) se obtiene un valor de erosividad media anual de 5384.27 MJ-mm/ha-h-año para toda la zona de estudio, que si está en el orden de magnitud de los reportados por diferentes autores como Hoyos et al. (2005), Yin et al. (2015), Panagos et al. (2015) y Panagos et al. (2017).

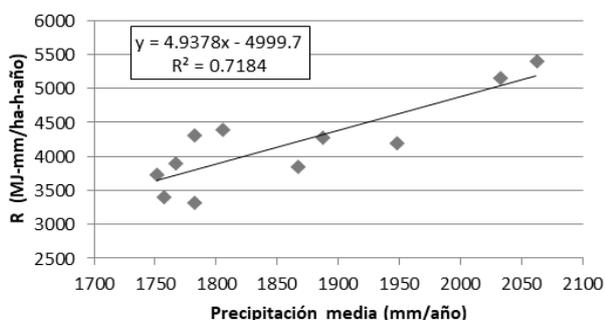


Figura 4.- Modelo lineal para R propuesto por Ríos (2018).

Finalmente, con relación al factor topográfico (LS) se encontró que existe una tendencia general al aumento en sus valores estimados (Tabla 2) a medida que se mejora la escala topográfica o la resolución de pixel del modelo de elevación

digital, resultado de suma importancia para fines de modelación del proceso erosivo.

Conclusiones

La diferencia principal entre el modelo de Pérez y Mesa (2002) y el modelo desarrollado por Ríos (2018) radica en la resolución temporal de los datos de precipitación utilizados, dado que las intensidades calculadas a partir de un intervalo de 15 minutos reflejan de mejor manera la variabilidad natural y el hecho de que los aguaceros más intensos son los responsables o generadores de la mayor erosión de los suelos.

Tabla 2.- Resultados análisis factor topográfico LS.

Extensión	Toda el área		Qda. Bramadora	
	LS promedio	LS máximo	LS promedio	LS máximo
Parámetro / Escala	[adim]	[adim]	[adim]	[adim]
1:100,000	6.26	125.43	3.21	36.86
1:25,000	7.05	194.09	3.95	32.33
1:10,000	-	-	3.91	58.75

A pesar de que el factor topográfico (LS) presenta una fuerte dependencia a la escala cartográfica utilizada se recomienda utilizar la escala 1:25,000 o DEM con pixel de 12.5 x 12.5 m debido a que este es de acceso libre y no requiere un coste computacional tan alto para su procesamiento como el DEM con pixel de 1 x 1 m.

Referencias

- 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), 177–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.014>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rouseva, S., ... Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of The Total Environment*, 511, 801–814. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., ... Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 7(1), 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
- Pérez, J. D., & Mesa, O. J. (2002). Estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia. In *XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología* (p. 12). Medellín.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703.
- Ríos, J. D. (2018). *Erosión hídrica y evolución del relieve en las cuencas de los ríos Grande y San Andrés, Antioquia – Colombia. Tesis de maestría*. Universidad Nacional de Colombia.
- Van Remortel, R. D., Hamilton, M., & Hickey, R. J. (2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of DEM elevation data. *Cartography*, 30(1), 27–35.
- Van Remortel, R. D., Maichle, R. W., & Hickey, R. J. (2004). Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. *Computers & Geosciences*, 30(9–10), 1043–1053. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2004.08.001>
- Wischemeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting Soil Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. USDA Agricultural Handbook No. 537.
- Yin, S., Xie, Y., Liu, B., & Nearing, M. A. (2015). Rainfall erosivity estimation based on rainfall data collected over a range of temporal resolutions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 4113–4126. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-19-4113-2015>