

# EL PAPEL DE LOS SISTEMAS CONVECTIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA CUENCA TROPICAL DE MONTAÑA

S.P. Salamanca, N. Velásquez, V.A. Lopera y J.I. Vélez

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia.

E-mail: sapsalamancaji@unal.edu.co, nvelasqg@unal.edu.co, valoperam@unal.edu.co, jivelezu@unal.edu.co.

## Introducción

La producción de sedimentos a escala de cuenca se encuentra estrechamente relacionada con la estructura de los sistemas de tormenta que los producen (Snyder, Et. Al. 2003, Deal, Et. Al. 2017). Esta estructura puede ser entendida como un conjunto de características espaciales y temporales (Seed & Austin. 1990). En términos temporales las características propias de la tormenta son: intensidad media (Imed), intensidad máxima (Imax), duración (D), precipitación total (Ptot), entre otras. Por su parte, los términos espaciales se encuentran asociados a aspectos tales como la identificación del tipo de tormenta (convectivos o estratiformes) y el área que estos cubren sobre la cuenca (Khairolanuar, Et. Al. 2015). En adición, los eventos con intensidades altas producen mayor escorrentía y por lo tanto tienden a producir una mayor tasa de sedimentos (Hastings. Et. Al. 2005). Dichos eventos se encuentran asociados a sistemas convectivos, los cuales presentan características espacio-temporales específicas, como áreas de cobertura limitadas y una alta variabilidad temporal (Kampf, Et. Al. 2016). Las características mencionadas de los sistemas convectivos, derivan en una mayor incertidumbre en el momento de cuantificar y predecir la cantidad de material erodado durante un evento. Todavía no se presentan relaciones claras entre la producción y las características de los sistemas.

La producción de sedimentos puede ser entendida como un sistema complejo (Borrelli, Et. Al. 2014), en el cual se involucran múltiples variables tales como: las características del suelo, la topografía, el uso del suelo, la variabilidad hidrológica y la precipitación. Debido a lo anterior, es de esperarse que la relación entre estas variables y la producción no sea lineal, como sí lo han asumido anteriormente aproximaciones realizadas por modelos del tipo USLE y RUSLE (Merritt, Et. Al. 2003). El uso del suelo y su textura varían en el orden de meses a años, la topografía lo hace en el orden de años a miles de años, y las características hidrológicas varían en cuestión de minutos y horas. A lo anterior cabe sumarle la variabilidad de la lluvia, la cual oscila en cortos periodos de tiempo (Seed & Austin. 1990). Se hace entonces necesaria una mayor comprensión del sistema de producción de sedimentos. Sin embargo, este es difícil de cuantificar debido a su origen difuso y errático sobre las laderas, y se hacen necesarias las aproximaciones mediante simulación. A través de dichas aproximaciones es posible establecer relaciones entre las variables mencionadas y las tasas de producción. De forma específica, si es posible plantear un análisis sobre el papel de la lluvia.

Existen trabajos donde se ha evaluado este papel de la lluvia (Angulo 2012., Qin 2016). Sin embargo este continúa siendo pobre, y se desconoce de forma clara cuáles son las relaciones entre la estructura de los sistemas y la producción. Aquí resaltan las limitaciones para registrar de forma adecuada la variabilidad espacio-temporal de la precipitación. En múltiples ejercicios de simulación de sedimentos se emplean campos agregados a escalas temporales del orden de días (Deal, 2017) y años (Qin, 2016). En otros casos se utilizan datos obtenidos a escalas espaciales gruesas (Bogena, Et Al. 2003, Wilkinson. 2014). Y además, es común encontrar el uso de campos interpolados (Lu, 2002., Hoyos, 2005., Meusburger, 2012). En los casos mencionados se pierde de una u otra forma el entendimiento de

la variabilidad espacio-temporal de la lluvia. Dicha pérdida limita las posibilidades de entender el papel de la lluvia en función de las demás variables.

En el presente trabajo se explora el papel de la precipitación en la producción de sedimentos en una cuenca tropical mediana. Para ello se emplea el sub módulo de sedimentos del modelo hidrológico contenido en el software WMF (Watershed Modelling Framework) (<https://github.com/nicolas998/WMF>). En conjunto, el modelo es utilizado con datos de un radar meteorológico banda C. Tanto la hidrología como los sedimentos son calibrados con datos de caudal y sedimentos a la salida de la cuenca. Dentro de la simulación se evalúan múltiples eventos en los cuales se da la producción. Se busca establecer relaciones entre la estructura de la lluvia y la variabilidad en la producción, ¿cuáles son las condiciones bajo las cuales se incrementa o decrece la producción? En el análisis se tiene en cuenta también la lluvia precedente y las características geomorfológicas de las regiones donde ésta ha ocurrido.

## Información

El análisis se realiza sobre la cuenca de Jaguas, la cual se encuentra localizada en el departamento de Antioquia (Colombia) (ver Figura 1). Esta es una cuenca de montaña desarrollada principalmente sobre una meseta, con una pendiente media del 29% y un área total de 454km<sup>2</sup>. La cuenca descarga su caudal sobre el embalse Jaguas, por lo que es de interés conocer la tasa de producción de sedimentos de la misma. El procesamiento de la cuenca se realizó mediante el MDE (Modelo digital de elevación) de ALOS-PALSAR (JAXA/METI, 2011), agregado a una escala de 40m. Los usos del suelo y la textura del mismo se obtuvieron de fotografías aéreas y levantamientos previos respectivamente.

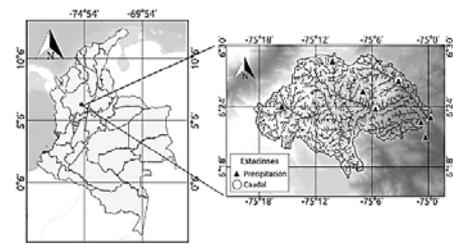


Figura 1.- Localización de la cuenca de Jaguas.

Para generar campos de precipitación se cuenta con registros horarios de 8 pluviómetros (2009 - 2017), y de forma adicional se tiene el radar banda C (2014 - 2017). A partir de los 8 pluviómetros se obtienen campos de precipitación interpolados mediante la metodología IDP (Inverso de la distancia ponderado). Por su parte, con el radar se obtienen campos de reflectividad cada 5min, los cuales, son transformados a precipitación para ser usados en el modelo.

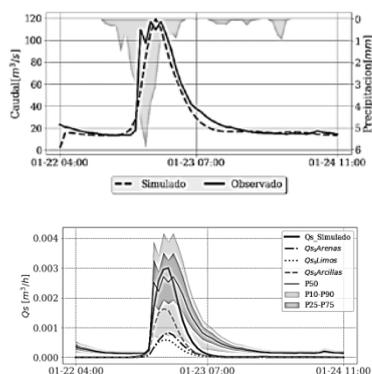
A la salida de la cuenca se cuenta con información de niveles transformados a caudal mediante calibración de la sección. En el mismo punto se tienen aforos líquidos y sólidos. A partir de los aforos se obtienen relaciones estadísticas para los sedimentos en función del caudal líquido, utilizadas en la validación del modelo de sedimentos.

## Metodología

En la simulación se han utilizado el modelo hidrológico y el sub-modelo de sedimentos contenidos en el paquete WMF. El esquema de modelación hidrológica es una modificación del modelo TETIS (Vélez, 2001). Dentro de las modificaciones cabe resaltar: la variabilidad de la evaporación en función del tiempo, esquema no lineal para flujos laterales, inclusión de flujo de retorno, el uso de campos de precipitación obtenidos de forma directa mediante radar y la inclusión de trazadores virtuales en el modelo. El sub-modelo de sedimentos parte del propuesto en el CASC2D-SED (Julien, 1995), sin modificaciones. Para obtener una simulación continua de sedimentos se ha optado por un esquema de simulación en dos escalas: 1. simulación de largo plazo a escala diaria, y 2. Simulación de eventos a escala de 5min. La simulación a escala diaria se ha realizado en el año 2015, con un índice de nash de 0.7, adicional, se guardan las condiciones del modelo en cada intervalo. La simulación por eventos se realiza en los días que ocurren eventos significativos de lluvia, y como condiciones iniciales se toman los estados guardados a escala diaria. En este caso con una sola parametrización, se obtienen eficiencias que varían entre 0.4 y 0.8. En cada evento se conoce la producción de sedimentos, la distribución espacial del volumen erosionado, las características de la precipitación y de la hidrógrafa simulada (componentes de escorrentía y flujo sub-superficial de la misma). Se realiza un análisis comparativo entre la variabilidad de las simulaciones y la precipitación, teniendo no sólo en cuenta el evento, sino también la acumulación de lluvia previa.

## Resultados

En términos de simulación se ha logrado obtener un buen desempeño del modelo a escala diaria mediante el uso del radar. Para el periodo del año 2015 se obtiene un nash de 0.7. Además, es posible usar condiciones diarias como punto de inicio en simulaciones a menor escala. En diferentes casos el modelo logra capturar tanto la variabilidad hídrica como sedimentológica (ver Figura 2).



**Figura 2.-** Resultados para el 23 de enero del 2015. Arriba: resultados de simulación hidrológica para el evento. Abajo: resultados de la simulación de sedimentos, las bandas corresponden a la incertidumbre estadística en los sedimentos observados, las líneas a las porciones de sedimentos simulados.

Dentro de los resultados se evidencia una fuerte relación entre las características de intensidad, la topografía y los suelos. Además, las condiciones antecedentes presentan una influencia que debe ser explorada de forma más profunda, ya que se encuentran vinculadas con la generación de escorrentía y por lo tanto con la producción de sedimentos. En la simulación se han utilizado el modelo hidrológico y el sub-modelo de sedimentos.

## Conclusiones

Se ha implementado un modelo hidrológico y de sedimentos en una cuenca tropical mediana. En donde debido a condiciones

orográficas y climáticas se presentan eventos convectivos de forma continua. Teniendo en cuenta las condiciones descritas, el ejercicio busca explorar en detalle potenciales relaciones entre la producción de sedimentos, algunas características de la cuenca y la variabilidad de la precipitación.

El modelo hidrológico ha sido utilizado en 2 escalas diferentes de tiempo, la primera con el objeto de obtener condiciones de inicio, y la segunda para simular la producción de sedimentos de forma detallada. Mediante la simulación detallada apoyada en información de radar, ha sido posible explorar potenciales relaciones existentes entre la estructura de la lluvia, las condiciones de la cuenca y la producción de sedimentos. Es importante continuar explorando estas relaciones en un futuro mediante el uso de otras metodologías.

## Referencias

- Angulo-Martínez, M., & Beguería, S. (2012). "Trends in rainfall erosivity in NE Spain at annual, seasonal and daily scales, 1955 - 2006." *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(10), pp. 3551–3559.
- Bogena, H., Diekkrüger, B., Klingel, K., Jantos, K., & Thein, J. (2003). Analysing and modelling solute and sediment transport in the catchment of the Wahnbach River. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28(12), pp. 1033–1044.
- Borrelli, P., Märker, M., Panagos, P., & Schütt, B. (2014). "Modeling soil erosion and river sediment yield for an intermountain drainage basin of the Central Apennines, Italy". *Catena*, 114, pp. 45–58.
- Deal, E., Favre, A. C., & Braun, J. (2017). "Rainfall variability in the Himalayan orogen and its relevance to erosion processes". *Water Resources Research*, 53(5), pp. 4004 – 4021.
- Hastings, B. K., Breshears, D. D., & Smith, F. M. (2005). Spatial Variability in Rainfall Erosivity versus Rainfall Depth. *Vadose Zone Journal*, 4(3), 500.
- 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), pp. 177–191.
- JAXA/METI ALOS PALSAR L1.0 (2007). Accessed through ASF DAAC 11 June 2015. doi: 10.5067/Z97HFCNKR6VA.
- Julien, P. Y., B. Saghaian, and F. L. Ogden, 1995. Raster-Based Hydrologic Modeling of Spatially-Variied Surface Runoff. *Water Resources Bulletin*, 31(3):523-536
- Kampf, S. K., Brogan, D. J., Schmeer, S., MacDonald, L. H., & Nelson, P. A. (2016). How do geomorphic effects of rainfall vary with storm type and spatial scale in a post-fire landscape? *Geomorphology*, 270, pp. 1–12.
- Khairolanuar, M. H., Ismail, A. F., Jusoh, A. Z., & Mohd Sobli, N. H. (2015). Classification of rain types for rain attenuation prediction method improvement based on radar information in tropics. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(16), 7202–7205.
- Lu, H., & Yu, B. (2002). "Spatial and seasonal distribution of rainfall erosivity in Australia". *Australian Journal of Soil Research*, 40, 887.
- Merritt, W. S., Letcher, R. a., & Jakeman, a. J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*, 18(8–9), 761–799.
- Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L., & Alewell, C. (2012). "Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland". *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), pp. 1–12.
- Guo, Q., Zuo, C., Shan, Z., Ma, L., & Sun, G. (2016). "Spatial distribution and temporal trends of rainfall erosivity in mainland China for 1951–2010". *Catena*, 147, pp. 177–186.
- Seed, A., & Austin, G. (1990). Variability of summer Florida rainfall and its significance for the estimation of rainfall by gages, radar, and satellite. *Journal of Geophysical Research*, 93(d3), 2207–2215.
- Snyder, N. P., Whipple, K. X., Tucker, G. E., & Merritts, D. J. (2003). Importance of a stochastic distribution of floods and erosion thresholds in the bedrock river incision problem. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B2).
- Vélez, J. I. (2001). Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Wilkinson, S. N., Dougall, C., Kinsey-Henderson, A. E., Searle, R. D., Ellis, R. J., & Bartley, R. (2014). Development of a time-stepping sediment budget model for assessing land use impacts in large river basins. *Science of the Total Environment*, 468–469, 1210–1224.