

Evaluación de la erosión y el transporte de sedimentos ante eventos extremos de precipitación asociados al cambio climático

María de Lourdes Rodríguez Morales¹ Mayra Guadalupe Vázquez Rodríguez¹, Juan Enrique Collazo Aranda¹, David Alonso Rocha Díaz¹, Jimena Cisneros¹, Ismael Orozco Medina²

¹Licenciatura en Ingeniería Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; je.collazoaranda@ugto.mx, da.rochadiaz@ugto.mx, mg.vazquez.rodriguez@ugto.mx, mdlrodriguezmorales@ugto.mx, j.vazquezcisneros@ugto.mx

²Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; i.orozco@ugto.mx

Resumen

En esta investigación se evalúa a través del modelado matemático la producción de la erosión y el transporte de sedimentos ante eventos extremos de precipitación asociados al cambio climático, en la cuenca experimental ubicada en el condado de Panola, Mississippi, EE. UU. La metodología propuesta involucra el uso de un modelo hidrológico distribuido y un modelo sedimentológico. Además de información geográfica, datos hidrometeorológicos y escenarios futuros que permitan el manejo eficiente de los efectos del cambio climático. Lo anterior con la finalidad de orientar su aplicación en diferentes estudios, diseños de obras hidráulicas y prácticas de conservación del suelo.

Palabras clave: Cambio climático, erosión hídrica, transporte de sedimentos, modelo TETIS.

Introducción

Los efectos del cambio climático sobre el ciclo de los sedimentos pueden clasificarse en efectos en la cuenca, también denominados internos o externos. Los efectos internos son, por ejemplo, la pérdida de suelo y la disminución de la productividad de éste, que afecta especialmente a áreas altamente erosionables. Entre los efectos externos se pueden citar el incremento de la frecuencia de flujos perconcentrados, la mayor incorporación de contaminantes en el agua y el acortamiento de la vida de los embalses debido a una aceleración de su colmatación, que puede convertirse en un problema en cuencas muy erosivas, como las que se encuentran en la media y alta montaña. La forma más habitual para la evaluación de los efectos del cambio climático en los ciclos del agua y los sedimentos es mediante modelación matemática. Los diferentes modelos distribuidos de sedimentos han sido acoplados con predicciones reescaladas de escenarios climáticos. Estos modelos determinísticos distribuidos en el espacio pueden explicar mejor los cambios de la redistribución de sedimentos y la modificación de las zonas de erosión y depositación debido a cambios en el uso de suelo (Bussi et al., 2014; Orozco y Ramos, 2020). Con base en lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar los impactos del cambio climático en los procesos de erosión y transporte de sedimentos en la cuenca experimental Misisipi EU.UU.

Caso de estudio

El área seleccionada para el presente estudio ha sido la cuenca experimental de Goodwin Creek, ubicada en el condado de Panola, Mississippi, EE. UU. (figura 1). Esta cuenca tienen un área de 21.36 km², está dividida en 14 subcuencas con un canal de medición de flujo y una estación de medición (Blackmarr, 1995). Su propósito es proporcionar datos para la estimación de los impactos del uso de la tierra y los procesos de las cuencas hidrográficas en el transporte de sedimentos.

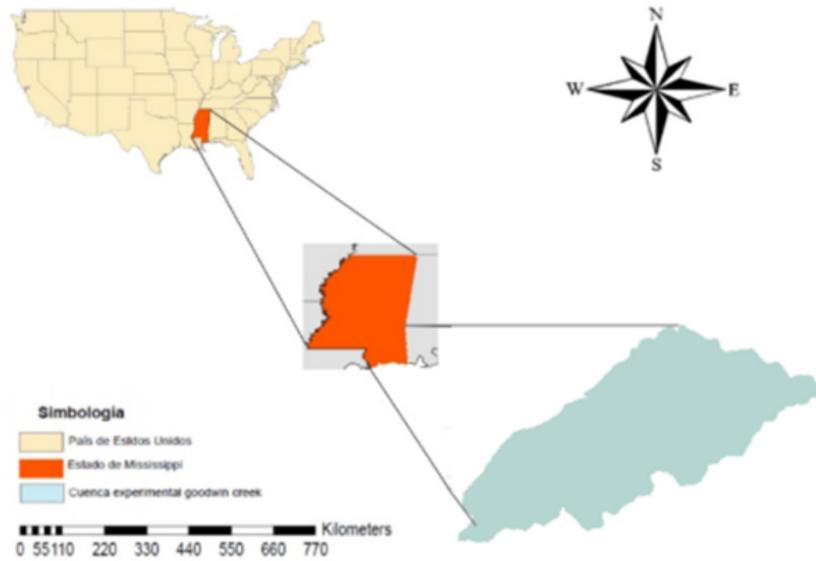


Figura 1. Ubicación y delimitación de la cuenca experimental Goodwin Creek.

Metodología

Esta investigación se ha llevado a cabo a través de la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS y su submodelo sedimentológico. Este modelo ha sido desarrollado por el Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA) del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). En su conceptualización utiliza un esquema de seis tanques para simular los principales procesos y almacenamientos del ciclo hidrológico (figura 2). Para más información sobre el modelo TETIS, se recomienda consultar a Francés et al. (2007).

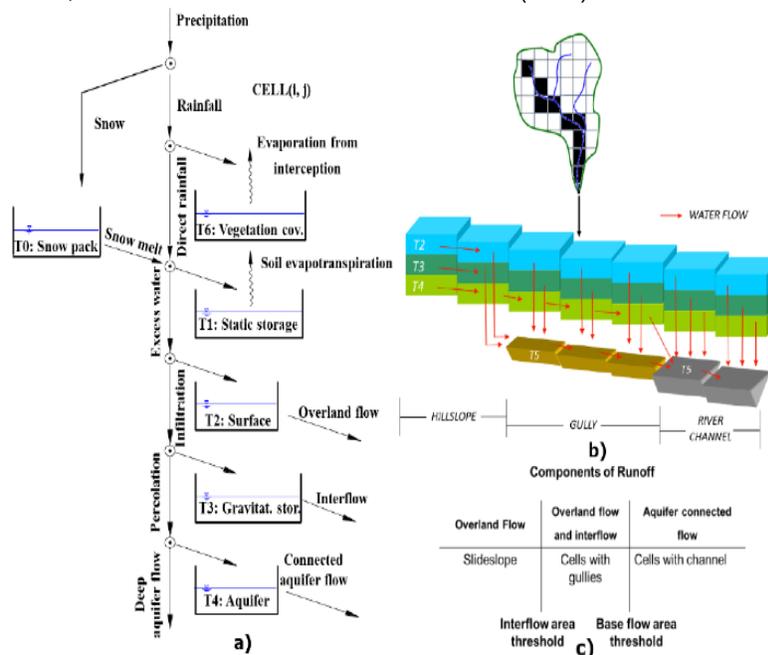


Figura 2. a) Esquema conceptual de tanques del movimiento vertical a nivel de celda, b) movimiento horizontal y c) elementos del sistema, umbrales de áreas y componentes de la escorrentía (Orozco et al., 2018).

En la implementación del modelo TETIS se han utilizado datos hidrométricos, meteorológicos e información geográfica obtenida de las principales fuentes oficiales de EE. UU. Para el modelado hidrológico y sedimentológico la cuenca dispone de 16 estaciones climatológicas, cuya distribución se puede observar en la figura 3. Al analizar la información climatológica se han seleccionado tres eventos de precipitación con diferente intensidad ocurridos en los años: 1981, 1982, 1983. Lo anterior, con la finalidad de evaluar el potencial erosivo de la lluvia y el transporte de sedimentos.

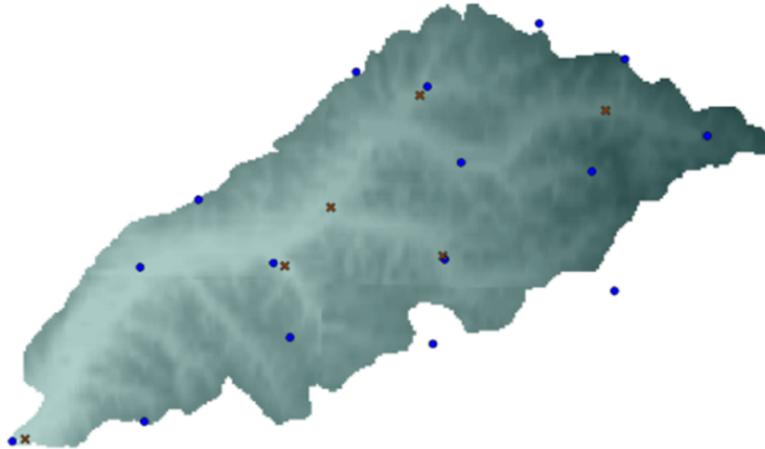


Figura 3. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas (P) e hidrométricas (H) usadas en el modelo TETIS y el submodelo sedimentológico.

En la tabla 1, se presenta la distribución espacial de las precipitaciones de los tres eventos de precipitación seleccionados. Estas estaciones se utilizaron para la calibración tanto del modelo hidrológico como sedimentológico. En términos generales la hidrología de la cuenca muestra un comportamiento horticario, con la escorrentía formada casi en su totalidad por flujo superficial, un flujo base pequeño y no permanente en la desembocadura.

Tabla 1. Precipitación acumulada de los eventos seleccionados para llevar a cabo la cuantificación de la erosión y el transporte de sedimentos.

Clave de la estación	Eventos		
	Precipitación 1981 (mm)	Precipitación 1982 (mm)	Precipitación 1983 (mm)
P001	3.18	3.90	0.479
P002	7.20	10.92	0.465
P005	11.49	47.92	0
P006	9.90	33.21	0
P007	4.32	39.29	0
P010	11.48	36.07	0.32
P012	10.58	17.68	0
P014	7.41	20.96	0.126
P034	12.08	15.89	0
P035	14.27	13.63	0
P041	9.18	22.96	0.088
P042	16.32	30.40	0
P052	8.35	13.35	0
P061	4.00	4.52	0
P064	4.96	39.20	0
P065	10.27	48.48	0.077

Resultados

La calibración se realizó en la estación Q001 ubicada en la desembocadura de la cuenca y usando las tres tormentas (tabla 1). Los resultados de la calibración del modelo hidrológico, usando como función objetivo el índice de Eficiencia de *Nash-Sutcliffe* (NSE, por sus siglas en inglés) son buenos al alcanzarse un NSE de 0.98 (figura 4). Como se puede observar el NSE obtenido es superiores a 0.7, por lo tanto, es un buen modelo y podrá ser usado para la simulación del flujo bifásico.

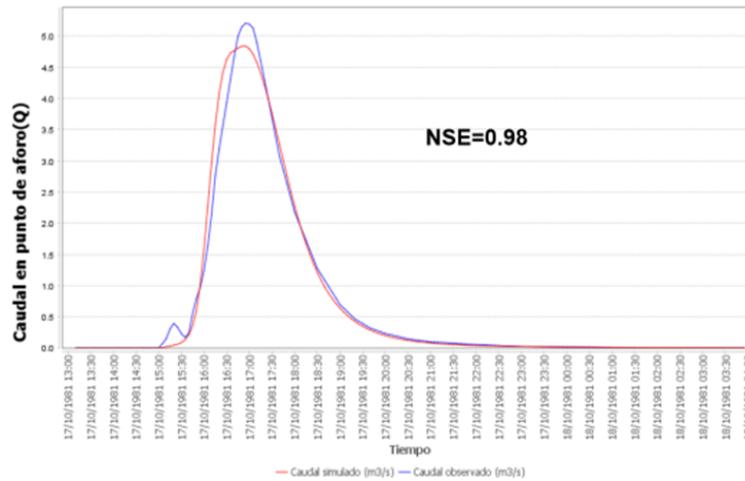


Figura 4. Resultado de la calibración del modelo hidrológico en la estación Q001 y para el año de 1981.

En el caso del submodelo sedimentológico de TETIS, también se ha realizado la calibración usando los sedimentogramas generados a partir de extracciones de muestras de sedimentos en los sitios donde se ubican las seis estaciones hidrométricas. La calibración del submodelo sedimentológico se ha realizado mediante el ajuste de los parámetros: α para la capacidad de transporte de ladera, y dos parámetros β para la capacidad de transporte de barrancos y canales fluviales. En la tabla 2 se presentan los valores de los parámetros obtenidos en el proceso de calibración.

Tabla 2. Parámetros obtenidos en la calibración del submodelo sedimentológico de TETIS.

Parámetro	Valor
α	0.48
$\beta 1$	8.98
$\beta 2$	4.69

La estimación de la erosión obtenida para la tormenta de 1981 muestra una tasa de erosión significativa a nivel de celda, principalmente en las partes altas donde la pendiente es fuerte y pronunciada (figura 5a). Bajo el escenario de un aumento del 15% en la intensidad de la tormenta de 1981, claramente podemos observar un gran incremento en la tasa de erosión y también un aumento en las celdas que sufren erosión (figura 5b).

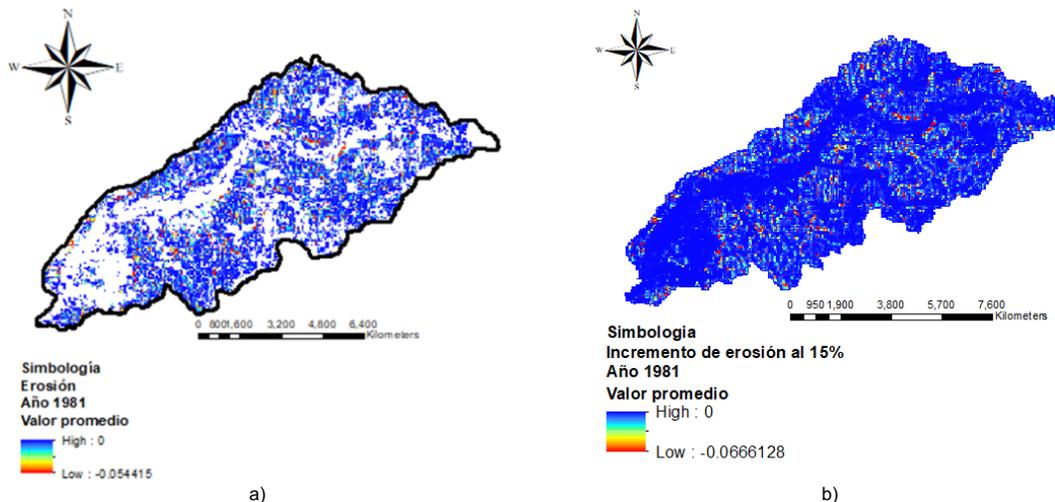


Figura 5. a) Erosión total de la cuenca modelada para el evento del año 1981 (m3) y b) Erosión para el mismo año pero con un incremento de la intensidad del evento del 15%.

En el caso del transporte de sedimentos, el submodelo sedimentológico de TETIS ha permitido evaluar los momentos críticos y los tiempos en los que toda la red fluvial realiza transporte (figura 6). Estos resultados son de suma relevancia porque permiten indicar en qué momento y en qué sitios del sistema fluvial se presenta la mayor concentración del transporte de sedimentos. En términos de acciones para evitar que se

siga transportando el sedimento hacia una obra importante como por ejemplo una presa, puede ayudar a definir los sitios donde deberán de colocarse diques de sedimentación.

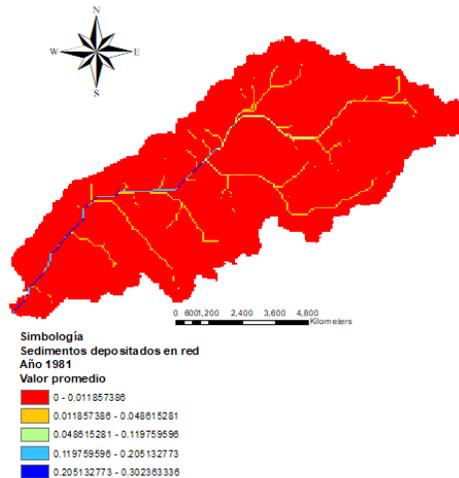


Figura 6. Transporte de sedimentos para el evento del año de 1981 (m3) obtenidos con la modelación hidrológica y sedimentológica.

Conclusión

En el conocimiento del comportamiento de la respuesta de caudales bifásicos en la cuenca estudiada, se ha podido observar las ventajas de usar un modelo matemático sobre las conceptualizaciones empíricas existentes. Es decir, los resultados son más fiables al considerar las características hidromorfológicas del sistema. Los resultados de la modelación han permitido identificar las zonas de mayor vulnerabilidad y los sitios donde deberá de realizarse monitoreo permanente a través de técnicas como estacas de erosión. En el caso del transporte de sedimentos el modelo puede ayudar a definir los sitios donde deberán de colocarse diques de sedimentación.

Referencias

- Blackmarr, W. (1995). Documentation of Hydrologic, Geomorphic and Sediment Transport Measurements on the Goodwin Creek Experimental Watershed, Northern Mississippi, for the period 1982-1983. National Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.
- Bussi G., Francés F., Montoya J.J., Julien P.Y. (2014). Distributed sediment yield modelling: Importance of initial sediment conditions. *Environmental Modelling & Software*. 58 (2014): 58-70, doi:10.1016/j.envsoft.2014.04.010
- Francés, F., Vélez, J. I., Vélez, J. J. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332(1), 226–240.
- Orozco Medina, I., & Ramos Castillo, L. A. (2020). Modelado de la producción de sedimentos en una cuenca con poca información incluyendo los potenciales efectos del cambio climático y el cambio de uso de suelo. *Acta Universitaria*, 30, 1–19. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2901>
- Orozco I., Francés F., Mora J. 2018. Parsimonious modeling of snow accumulation and snowmelt processes in high mountain basins. *Water*, 11(6), 1288, 2018. ISSN: 2073-4441. doi: 10.3390/w11061288.