

ESTIMACIÓN DE SERIES DE TRANSPORTE EN SUSPENSIÓN PARA GRANDES CUENCAS GENERADORAS DE SEDIMENTOS

Pablo Spalletti, Martín Irigoyen y Luciano Hergenreder

Au. Ezeiza-Cañuelas, tramo J. Newbery Km 1,62 C.P. 1804, Ezeiza, Bs As, Argentina. Tel. (+54 11) 4480-4500
E-mail: pspallett@ina.gob.ar

Introducción

Las cuencas con vertiente oriental de los Andes entre las que se destacan las de los ríos Bermejo, Pilcomayo y Grande (Figura 1), constituyen los principales aportes de sedimentos a los sistemas hídricos del Amazonas y del Plata (Brea et al., 2010; Guyot et al., 1994), presentando algunas de ellas las mayores tasas de generación de material sólido a nivel mundial.

Estos aportes no sólo gobiernan los procesos morfológicos en los cauces, sino que ejercen una influencia significativa en el uso de los recursos hídricos. Agua para riego y consumo humano, procesos de avulsión, desarrollo y afectación de ecosistemas, sedimentación de pasos de navegación y puertos, desarrollo de aprovechamientos hidroenergéticos y afectación de infraestructura, son temáticas a abordar desde la ingeniería en estas cuencas que están fuertemente condicionadas por las altas concentraciones de sedimentos en los cauces.

Otra particularidad de estos ríos es que gran parte de la carga sólida es transportada como carga de lavado, que no puede cuantificarse mediante expresiones teóricas o empíricas y sólo puede caracterizarse a partir de registros de campo.

La relevancia de la información relativa al acarreo de sólidos y de las dimensiones del material transportado necesaria para cuantificar los procesos, se contraponen con la disponibilidad de registros en las estaciones de aforo, contándose en general sólo con mediciones aisladas, no sistemáticas, de concentraciones de sedimento en suspensión.

Resulta por ello necesario para el abordaje de los citados problemas ingenieriles y ambientales, realizar estimaciones de las series temporales de transporte en suspensión.

En el presente trabajo se describe la implementación del programa SWAT en la cuenca del río Grande, para la reconstrucción de las series de transporte sólido en suspensión.

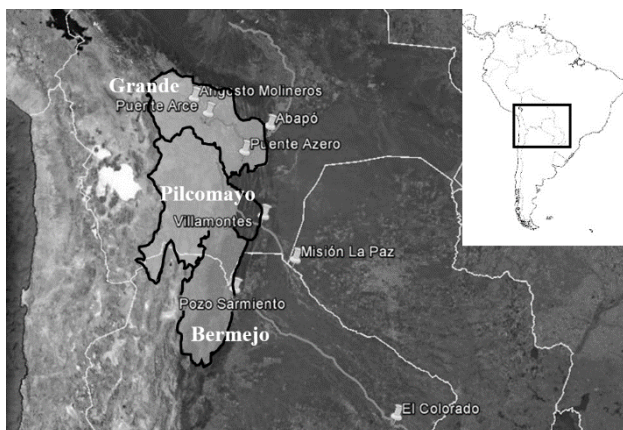


Figura 1.- Cuenca altas de los ríos Bermejo, Pilcomayo y Grande.

Registros de sólidos en suspensión

En la Figura 2 se han graficado los registros de concentraciones de sólidos suspendidos en función de los caudales líquidos disponibles en la sección de Abapó, sobre el río Grande, obtenidos de estudios en el citado río (Guyot et al., 1996).

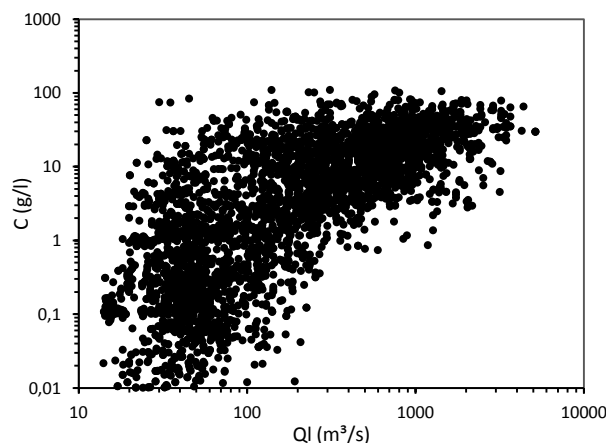


Figura 2.- Concentraciones en función del caudal líquido río Grande.

Se observan grandes dispersiones de las concentraciones para caudales bajos y un rango de variación reducido para los caudales más altos, en torno a una concentración de referencia en crecidas, cercana a los 50g/l.

Un comportamiento similar puede apreciarse en las estaciones con registros de concentraciones en las cuencas de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Grande (Spalletti et al., 2016). Los caudales de crecida se corresponden con precipitaciones generalizadas en la cuenca, y si bien la producción de sedimentos y el transporte de material sólido suspendido por su naturaleza presentan una gran variabilidad, las concentraciones de sedimentos en suspensión tienen un rango de variación menor. Las situaciones con caudales líquidos bajos y altas concentraciones se corresponden con eventos intensos localizados, sin una distribución espacial extendida en la cuenca.

Estimación de las series de transporte en suspensión en la cuenca del río Grande

Para estimar los aportes sólidos a aprovechamientos hidroenergéticos proyectados en la cuenca alta del río Grande (Figura 3), se implementó el programa SWAT, una herramienta multiparamétrica con base física, que resuelve los aspectos hidrológicos y de producción de sedimentos mediante la modelación en dos fases, una que simula los procesos que se desarrollan en el área de cada unidad de análisis, y otra fase de traslado en los cauces.

En primera instancia se efectuó una calibración del modelo hidrológico, para luego proceder al ajuste del módulo de producción y transporte de sedimento, ya que este último utiliza los resultados del primero.

La calibración del modelo hidrológico se llevó a cabo mediante el módulo SWAT-CUP (Abbaspour et al., 2015) con el cual se evaluaron 25 combinaciones de los parámetros de curva número (CN) y evaporación del agua contenida en la capa superficial del suelo (ESCO), en forma semi-automática en sucesivas iteraciones.



Figura 3.- Cuenca alta del río Grande hasta Abapó.

La bondad del ajuste lograda entre las simulaciones para cada combinación de parámetros, y los registros disponibles en cuatro estaciones de aforo en el período de análisis de 50 años, se evaluó (a paso mensual) mediante los índices R^2 y Nash-Sutcliffe. Para la combinación final adoptada, se obtuvieron, en las cuatro estaciones de comparación, valores de R^2 y $NS \geq 0,71$. Los resultados a paso diario, a su vez, fueron consistentes con la descripción de los picos de crecida y las descargas en estiaje.

El módulo sedimentológico de SWAT corre en forma acoplada al hidrológico, y estima la producción de sedimentos por erosión superficial a través de aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo modificada MUSLE (Neistch et al, 2011). También analiza el movimiento del material sólido a través de los cauces del sistema de drenaje superficial, con diversos esquemas de transporte. En este caso, se empleó la fórmula de Bagnold para determinar la máxima capacidad de transporte. El modelo permite calcular series de transporte en suspensión a paso diario, en cada sección y en cada subcuenca del sistema.

Para la verificación y ajuste del módulo sedimentológico se realizaron simulaciones en el mismo período de 50 años (1965-2015) con paso de tiempo diario, y se verificó que los rangos de concentraciones se correspondieran con los registros.

La Figura 4 muestra las relaciones C-QI para los registros históricos, y los calculados con el modelo en el período de análisis.

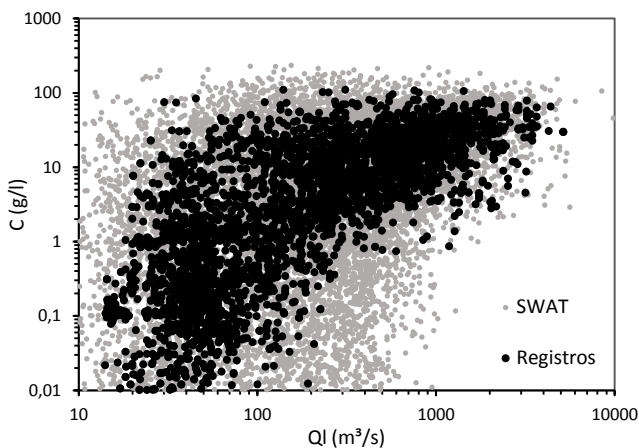


Figura 4.- Concentraciones medidas y estimadas río Grande en Abapó.

En la Figura 5 se presenta la serie temporal de sedimentos medios diarios suspendidos en Abapó para los últimos 10 años de simulación (2005-2015), junto con los registros históricos de material sólido transportado. Se observa un ajuste adecuado más allá de la alta variabilidad de este parámetro en condiciones naturales.

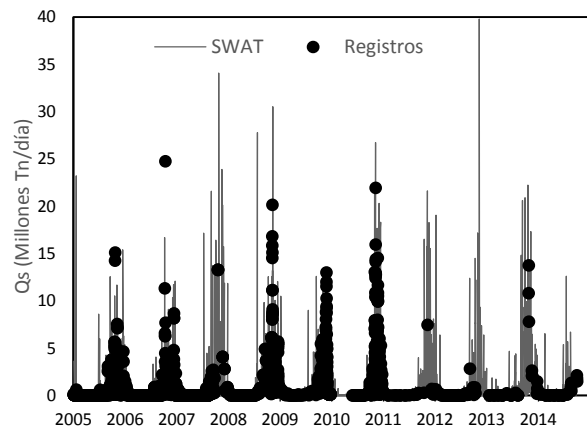


Figura 5.- Serie temporal de los caudales sólidos diarios en Abapó. Comparación con registros históricos, 2005-2015.

El aporte medio anual de sedimentos estimado fue de 248 millones de toneladas, con una variación interanual en un rango aproximado entre 100 y 550 millones de Tn/año.

Conclusiones

El modelo de producción y transporte de sedimentos en suspensión implementado con SWAT representó adecuadamente el patrón de dispersión de las relaciones C- Q_{liq} en la sección de cierre de la cuenca alta del río Grande (Abapó). Los resultados de la simulación también ponen de manifiesto que para los mayores caudales las concentraciones tienden a un valor cercano a los 50g/l. Se considera que la modelación es satisfactoria para caracterizar cuantitativamente la generación y transporte de sedimentos en la cuenca alta del río Grande.

Referencias bibliográficas

- Abbaspour, K.C.E., E. Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., Kløve, B. (2015). "A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model" *Journal of Hydrology*, 524 (2015) 733-752.
- Brea, J.D., Spalletti, P.D. (2010). *Generación y Transporte de Sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo*. COBINABE ISBN 978-987-25793-7-1.
- Guyot, J.L., Bourges, J., Cortez, J. (1994). "Sediment Transport in the Rio Grande, an Andean river of the Bolivian Amazon drainage basin". *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*, Proceedings of the Canberra Symposium, IAHS Publ. 224.
- Guyot, J.L., Filizola, N., Quintanilla, J., Cortez, J. (1996). "Dissolved solids and suspended sediment yields in the Rio Madeira basin, from the Bolivian Andes to the Amazon". *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*, Proceedings of the Exeter Symposium, IAHS Publ. 236.
- Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas Water Resources Institute.
- Spalletti, P.D., Irigoyen, M. (2016). "Transportes de Sedimentos en Ríos Andinos con Vertiente Atlántica de Bolivia y Norte de Argentina". *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Lima, Perú.