

MODELADO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO Y CONTINUO EN CUENCAS DE CÓRDOBA (ARGENTINA) - RESULTADOS PRELIMINARES

Juan F. Weber y Santiago Baigorri Ocampo

Laboratorio de Hidráulica, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Córdoba,
Universidad Tecnológica Nacional - Córdoba - Argentina.
E-mail: jweber@frc.utn.edu.ar

Introducción

En el marco de un proyecto de investigación cuyo objetivo es cuantificar, a través del modelado hidrológico, el impacto hidrológico a largo plazo de los incendios forestales en cuencas de la región serrana de la provincia de Córdoba (Argentina) se presentan los resultados preliminares de la simulación continua de una cuenca representativa de la región con el ampliamente difundido modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

Caso de estudio

La región semiárida central del país, a la cual pertenece gran parte del sector serrano y noroeste de la Provincia de Córdoba, se caracteriza por la relativa escasez del recurso hídrico. Este hecho, sumado al crecimiento demográfico de las últimas décadas y al aumento de la dotación de agua por habitante, genera la necesidad de tener conocimiento pleno de los procesos hidrológicos dominantes, buscando no sólo representar el comportamiento en aquellos períodos con precipitaciones, responsables de las grandes crecidas, sino también en los períodos de estiaje.

El río Grande es uno de los tributarios del río Tercero (o Ctalamochita) (Figuras 1 y 2). Tiene sus nacientes en la vertiente oriental de la Sierra de los Comechingones, en altitudes superiores a los 2000 msnm. Aporta su caudal al aprovechamiento hidroeléctrico Río Grande (Cerro Pelado). Esta cuenca ha sido monitoreada a lo largo de décadas por la ex empresa Agua y Energía Eléctrica S.E. En particular, existen registros de caudales medios diarios en el río Grande, antes de su ingreso al embalse Cerro Pelado (en Ume Pay) desde el año 1957 hasta la actualidad. Esto lo transforma en el registro de caudales medios diarios más extenso que se haya recopilado en esta provincia. En conjunto con esta estación, existen siete estaciones pluviométricas en la cuenca (o en su vecindad) con registros extensos, el menor de ellos de 25 años. Esta información es de acceso público a través del Sistema Nacional de Información Hídrica mantenido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (<http://www.hidricosargentina.gov.ar/>). La disponibilidad de esta información hace de la cuenca del río Grande en Ume Pay el mejor caso de estudio para la aplicación y calibración de un modelo hidrológico continuo en territorio cordobés. Sumado a esto, la amplia disponibilidad actual de productos de sensoramiento remoto (imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, mapas de tipo y uso del suelo, etc.) sugieren el uso de un modelo hidrológico continuo y distribuido como SWAT con ese fin, en particular si se pretende estudiar la variabilidad de la respuesta hidrológica de la cuenca ante diversas alteraciones de la misma (incendios, forestación, etc.).

La superficie de la cuenca es de 592,7 km², su perímetro es de aproximadamente 175,5 km, el coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius de $K_c = 2,02$, la mayor elevación alcanzada en la cuenca es de 2699 msnm y la menor es de 813 msnm. Esta cuenca aporta su caudal en forma directa a la represa hidroeléctrica Río Grande, la cual lleva su nombre debido al cauce principal de la cuenca de estudio.



Figura 1.- Ubicación de la Cuenca del río Grande en Ume Pay.

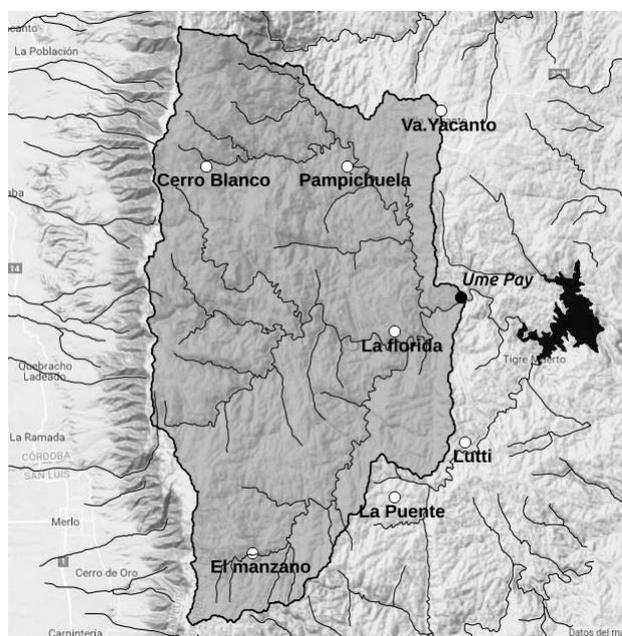


Figura 2.- Cuenca del río Grande en Ume Pay: ubicación de estaciones pluviométricas y limnimétrica.

Modelo hidrológico

El aumento en el poder de cómputo de las modernas computadoras ha permitido ampliar el uso de los modelos hidrológicos distribuidos. Entre los continuos, merece especial

atención SWAT (Soil and Water Assessment Tool). SWAT (Arnold et al, 2012) es un modelo a escala de cuenca, desarrollado por el Dr. Jeff Arnold del Servicio de Investigación Agrícola de los Estados Unidos (ARS). SWAT fue desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo sobre el agua, los sedimentos y los rendimientos químicos para la agricultura en grandes cuencas complejas con diferentes tipos y usos del suelo y condiciones de manejo durante largos períodos de tiempo. Para satisfacer este objetivo, el modelo es de base física: en lugar de incorporar ecuaciones de regresión para describir la relación entre las variables de entrada y salida, SWAT requiere información específica sobre el clima, las propiedades del suelo, la topografía, la vegetación y las prácticas de manejo de la tierra que se aplican en la cuenca (Neitsch et al, 2011).

El modelo SWAT en escala temporal se clasifica como continuo, ya que simula los procesos del ciclo hidrológico en periodos largos (meses o años). Permite además la distribución espacial de la información en zonas de menor tamaño a la cuenca. Inicialmente es posible dividir a la cuenca en subcuencas, esto permite diferenciar zonas dentro de la cuenca con distintas características. La información dentro de cada subcuenca es organizada mediante grupos de HRU (Unidades de Respuesta Hidrológica), estas son subdivisiones de menor tamaño a la subcuenca. Las HRU se clasifican y luego se aglutinan entre iguales, esto para caracterizar mejor a la subcuenca y lograr diferenciar zonas diferentes dentro de ésta. El modelo simula los distintos procesos del ciclo hidrológico en cada HRU. Además el modelo organiza la información de cada subcuenca por clima, agua subterránea, vías de escurrimiento y drenaje de la subcuenca.

Aplicación y Resultados

Para la simulación hidrológica se utilizaron los registros pluviométricos y de caudales medios diarios publicados en la Base de Datos Hidrológica Integrada gestionada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. La información climática requerida por SWAT (temperatura máxima y mínima, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento) se extrajo del sistema CFSR (Climate Forecasting System Reanalysis). El modelo digital de elevaciones utilizado fue el SRTM con una resolución de 30 m. Los mapas de tipo de suelo y cobertura vegetal fueron recopilados del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Este último aspecto fue mejorado a través del uso del índice NDVI elaborado a partir de imágenes LANDSAT de las estaciones extremas (invierno y verano).

A partir del análisis de superposición temporal de los registros pluviométricos y de caudales disponibles, se identificó un periodo común comprendido entre enero de 1993 y julio de 2014, con un faltante comprendido entre diciembre de 2007 y noviembre de 2008; y con cierta incertidumbre acerca de la calidad de los caudales del periodo enero de 1993 – septiembre de 2003. Por todo ello, se decidió tomar como futuro periodo de calibración del modelo el comprendido entre 9/2003 a 11/2007, tomando como periodo de precalentamiento (warm-up) 1/1998 - 9/2003, y como futuro periodo de validación 1/2011 - 7/2014 (con un warm-up de 12/2008 a 12/2010).

La implementación se realizó a través de la interfaz QSWAT, que permite la integración del modelo con el Sistema de Información Geográfica libre QGIS. Cabe destacar que en esta aplicación preliminar del modelo SWAT, se utilizó la base de datos por defecto de parámetros disponible con el propio modelo. En las Figuras 3 y 4 se muestra el resultado obtenido, comparando el hidrograma de paso diario simulado con el observado.

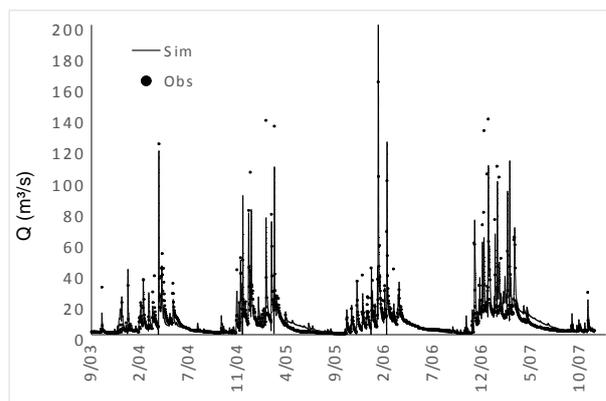


Figura 3.- Hidrograma de paso diario observado en Ume Pay (puntos) y simulado con SWAT (línea continua) – periodo 9/2003 – 11/2007.

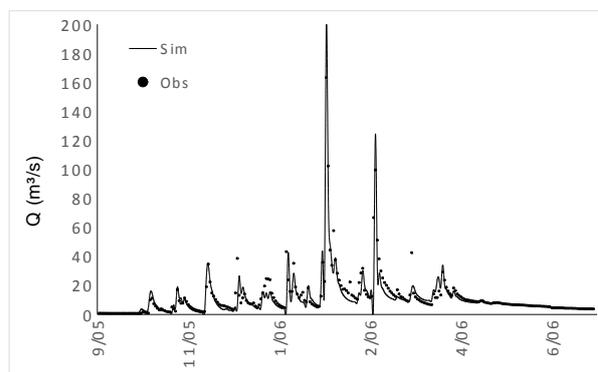


Figura 4.- Un detalle del año hidrológico 2005/2006.

Conclusiones

Ha sido posible implementar el modelo SWAT en una cuenca de la región serrana de la provincia de Córdoba, recurriendo a las mejores fuentes de información disponibles en los distintos aspectos involucrados. Además, ha sido posible identificar periodos de precalentamiento, calibración y validación que se consideran adecuados para la prosecución de las investigaciones.

Si bien el modelo aún no ha sido calibrado, los resultados preliminares obtenidos utilizando la base de datos de parámetros por defecto provistos con el propio modelo, arrojan resultados alentadores: un coeficiente de correlación de Pearson de 0,84 y un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe de 0,70.

Referencias bibliográficas

- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., ... & Kannan, N. (2012). "SWAT: Model use, calibration, and validation". *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- 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.