

MODELOS HIDROLÓGICOS DE APOYO A LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA BINACIONAL DEL RÍO CUAREIM/QUARAI

Christian Chreties¹, Rafael Kayser², Magdalena Crisci¹ y Walter Collischonn²

¹ Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería, Universidad de la República Uruguay

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

E-mail: chreties@fing.edu.uy, rafael.hbkayser@gmail.com, mcrcisci@fing.edu.uy, waltercollischonn@gmail.com.

Introducción

El río Cuareim, límite natural norte de Uruguay con Brasil, ocupa una cuenca de aproximadamente 14800 Km², 55% en margen uruguayo y 45 % en margen brasilera. La cuenca alta con cierre en las ciudades fronterizas de Artigas (Uruguay) y Quaraí (Brasil), presenta las pendientes más pronunciadas (1.96 m/Km) y suelos poco profundos (< 40 cm espesor), con baja capacidad de almacenamiento y rápida respuesta frente a eventos de lluvia. Además, presentan serias limitaciones de arraigamiento de las pasturas, por lo cual poseen grandes dificultades para su explotación agrícola y ganadera. Por el contrario, los suelos de la cuenca media y baja son de mayor profundidad (entre 40 y 120 cm), más baja pendiente y muy aptos para el desarrollo ganadero y agrícola, particularmente el cultivo de arroz. Desde el punto de vista regional, se trata de una de las zonas de mayor pobreza y limitaciones en cuanto al desarrollo socio-económico del Uruguay. En ese contexto, la actividad arrocera es el principal motor económico de la población y por ende su desarrollo sustentable resulta fundamental. Teniendo en cuenta los altos consumos de agua requeridos para el riego de arroz (10000 -15000 m³/has/zafra) y la importante variabilidad climática interanual existente en la región, la solución tecnológica para productores medios a grandes (superficies de cultivo superiores a 50 has) ha sido en su gran mayoría el almacenamiento de agua mediante embalses. La Figura 1 da cuenta de esta situación y del nivel de intensidad del uso del recurso hídrico en la cuenca. En dicha figura se presenta la ubicación de los 309 embalses existentes en la margen brasilera y los 114 embalses de margen uruguayo, que permiten acumular en su conjunto hasta 725 Hm³.

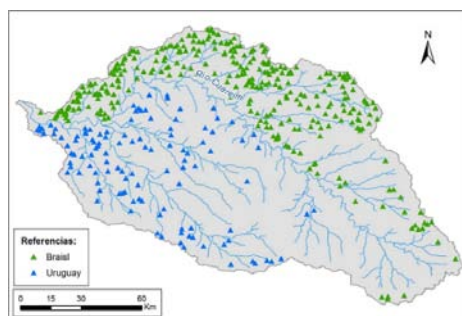


Figura 1.- Ubicación de embalses en la cuenca del río Cuareim. Azul: margen uruguayo, verde: margen brasilera.

En el caso de las tomas de extracción directa, si bien estas tienen menor impacto en cuanto al volumen utilizado, constituyen la posibilidad de riego para los pequeños productores o el riego de áreas complementarias. Existen 108 usuarios registrados de extracción directa entre ambas márgenes cuyo caudal autorizado total es 35 m³/s. (CIC- Plata, 2016). Otro aspecto de relevancia de la cuenca es su carácter binacional, imponiendo la necesidad de acordar una gestión compartida de los recursos hídricos al menos en las siguientes situaciones: autorizaciones de uso del recurso, prioridades, limitaciones por margen, resolución de conflictos en época de escasez hídrica, fiscalización y cobro. El modo de gestionar los recursos hídricos, ha sido una de las asimetrías más evidentes

entre ambas márgenes de la cuenca. Para acordar y llevar adelante una gestión unificada de los recursos hídricos en la cuenca resulta fundamental tener conocimiento de la oferta del recurso (cantidad de agua) distribuida en la cuenca, así como de la demanda actual (permisos de uso existentes) por cada usuario (embalses y tomas). El conocimiento de la oferta del recurso debe considerarse en el contexto de la variabilidad climática a la que está sometida esta zona del continente, y por lo tanto, debe surgir del análisis de series históricas de las variables climáticas. Las actividades que se describen en este trabajo tuvieron como objetivo el desarrollo de: i) un modelo hidrológico distribuido para representar los caudales diarios naturales en cualquier punto de la cuenca (oferta) ii) un modelo de oferta/demanda del recurso que habilite la evaluación de diferentes formas de gestionar la cuenca, como paso previo a la gestión binacional acordada. En particular, este último modelo permitirá estudiar los efectos de sobre los usuarios individuales existentes de una nueva autorización (toma/embalse) en cualquier punto de la cuenca.

Modelo hidrológico de caudales naturales: oferta

Fue implementado el modelo hidrológico MGB-IPH (Collischonn, 2007) en toda la cuenca del río Cuareim. Se trata de un modelo distribuido basado en unidades irregulares (minicuecas), construidas a partir de un modelo digital de terreno de la cuenca. Dentro de cada minicuenca, se identifican unidades de igual respuesta hidrológica (URH) agrupadas por tipo y uso de suelo presente en la minicuenca. El escurrimiento es generado en cada URH realizando un balance a la capa superficial del suelo, caracterizada por su almacenamiento máximo. La escurrimiento directa es calculada utilizando el modelo de Todini. La escurrimiento subsuperficial se determina en base al modelo de Brooks y Corey, y el flujo subterráneo se calcula en base a una relación lineal entre el volumen almacenado en el suelo y la capacidad máxima de almacenamiento. (Crisci et. al, 2015). Los escurrimientos: superficial, subsuperficial y subterráneos se transitan mediante el método de embalse lineal.

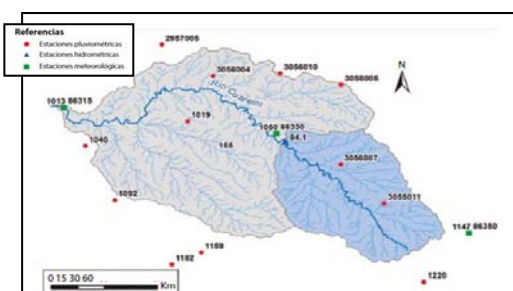


Figura 2.- Información pluviométrica, meteorológica e hidrométrica utilizada para el modelo hidrológico diario MGB-IPH.

El modelo utiliza series de precipitaciones y evapotranspiración diarias y sus 9 parámetros básicos son ajustados a partir de información de caudal diario. Los parámetros del modelo fueron calibrados y validados utilizando la información de la estación hidrométrica del río Cuareim ubicada en Artigas (84.1), cuya cuenca abarca aproximadamente 4500 Km² y donde el volumen almacenado en embalses es poco significativo (Figura 2).

Modelo hidrológico de gestión: oferta/demanda

Fue implementado un modelo distribuido de balance hídrico de tramos de cauces y embalses para toda la cuenca del río Cuareim (SIGBaH-Irriga). La oferta de agua se caracteriza en base a los resultados del modelo hidrológico MGB-IPH (desacoplado), mientras que las demandas resultan de los datos brindados por los organismos de gestión hídrica de cada país. Para cada tramo de río se realiza un balance considerando los ingresos (salidas del modelo MGB-IPH) y egresos de caudal (demandas por tomas). En el caso de los embalses, el balance se traduce en la aplicación de la ecuación de continuidad al volumen almacenado, donde su variación resulta igual a la diferencia entre entradas y salidas. Para las salidas se reconoce la demanda para riego, evaporación del lago y el caudal vertido por el aliviadero. Las entradas son la precipitación sobre el embalse y los ingresos de caudal aguas arriba, caracterizados por el balance hídrico del tramo de río aguas arriba del embalse. El caudal extraído del embalse para riego se determina en base al área a ser plantada en la zafra. Dicha área se determina en base al volumen almacenado en cada embalse en el mes de octubre. Con esa información y el consumo por hectárea fijada para toda la cuenca, se determina el caudal extraído para riego en cada embalse. (Kayser et. al, 2017). El paso de tiempo adoptado es semanal, acorde a la frecuencia de precipitación en la cuenca y adecuado para asumir despreciable el tránsito hidrodinámico en los embalses. El balance se realiza de manera continua y en cada paso de tiempo se actualiza el volumen y superficie en cada embalse, así como los caudales de los trechos que varían por efecto de vertidos de embalses.

Resultados

En la Figura 3 y Tabla 1 se presentan los resultados de la calibración del modelo hidrológico MGB-IPH en base a los datos de caudal observado en Artigas. Muestran un desempeño por demás aceptable para el cálculo de caudales diarios naturales que habilita su extensión aguas abajo de Artigas.

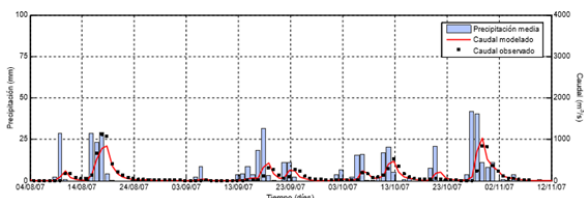


Figura 3.- Serie de caudales diarios simulados (rojo) con MGB-IPH y observados (negros) en la estación hidrométrica Artigas. (Validación)

Tabla 1.- Resultados de funciones objetivo en la calibración del MGB-IPH. NS: Nash-Suttcliff, ΔV : Diferencia de Volumen de escorrentía.

Indicador	Calibración	Validación		Total
	2001-2004	1/5/2005 al 30/11/2005	1/7/2007 al 31/12/2007	2001-2007
NS	0.80	0.76	0.81	0.77
ΔV	4.10	-3.70	-9.32	4.42

En cuanto al modelo hidrológico de gestión, su desempeño fue analizado a partir de la capacidad de representar la evolución del volumen/superficie de cada embalse de la cuenca, así como la evolución interanual de las áreas cultivadas de arroz a nivel de cuenca. La evolución de la superficie real de cada embalse, fue aproximada a partir del procesamiento de imágenes satelitales. La superficie simulada para cada embalse surge combinando el volumen simulado en cada semana del balance hídrico y las curvas volumen-superficie obtenidas del proyecto de cada obra. La Figura 4, muestra para un caso particular el adecuado desempeño del modelo. El área cultivada real se obtiene a partir de datos del Instituto Riograndense de Arroz (IRGA, Brasil) y la Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA, Uruguay).

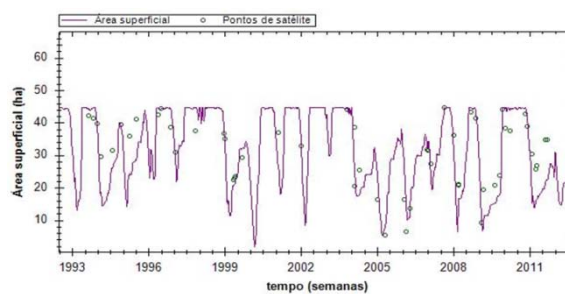


Figura 4.- Evolución temporal del área embalsada simulada vs. estimada por imágenes satelitales, para un embalse particular.

El área cultivada simulada, se obtiene a partir de sumar el caudal extraído en cada embalse simulado adicionando el caudal máximo autorizado por tomas, dividido la demanda por hectárea ($12000 \text{ m}^3/\text{zafra}$). En la Figura 5, se presenta la comparación entre ambas áreas a nivel de cuenca, discriminando por contribución de embalses y tomas. La incertidumbre en cuanto al uso de agua por las tomas es del orden del caudal autorizado, por lo cual el resultado mostrado en la Figura 5 es muy satisfactorio.

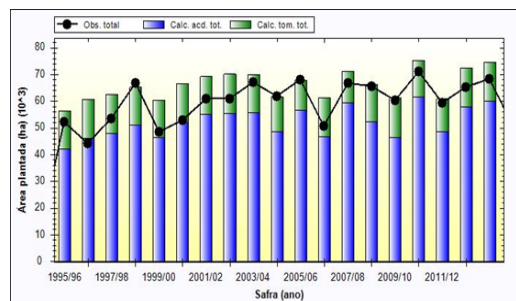


Figura 5.- Área plantada de arroz registrada (negra) y simulada asociada a embalses (azul) y tomas (verde) en toda la cuenca.

Conclusiones

Fue implementado, calibrado y validado el modelo hidrológico MGB-IPH en la cuenca del río Cuareim, mostrando un adecuado desempeño en la estimación de los caudales diarios naturales en cualquier punto de la cuenca. Además, fue desarrollado un modelo hidrológico de gestión (SIGBaH-Irriga) capaz de representar la evolución de volumen de cada embalse en la cuenca, así como las áreas cultivadas de arroz. También permite evaluar la satisfacción de una nueva demanda así como su potencial efecto para los usuarios existentes. La integración de ambos modelos habilita el análisis de diferentes escenarios de gestión de los recursos en la cuenca (política de autorizaciones, implementación de caudal ambiental, medidas de adaptación a escenarios de cambio climático, etc), siendo una herramienta fundamental para la gestión sustentable binacional conjunta.

Referencias bibliográficas

- Crisci, M., Chreties, C., Silveira, S.** (2015) "Simulación hidrológica continua en la cuenca del río Cuareim con el modelo MGB-IPH" *INNOTEC*, Vol 10, pp 40-48.
- Chreties, C.** (2016). *Proyecto piloto demostrativo para la resolución de conflictos de usos de agua en la cuenca del río Cuareim*. Documento Resumen. CIC-Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Collischonn W, Allasia, D., Bnedito C., Tucci, C.** (2007) "The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling", *Hydrological Sciences Journal*, 52:5, pp 878-895.
- Kayser, R; Chreties, C; Crisci, M; Collischonn W.**(2017) "Estimativa da variacao da producao interanual de cultivo irrigado em uma bacia hidrográfica a partir da modelagem hidrológica". *Proceedings of the XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Brasil*.