

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA TRANSPATAGÓNICA DEL RÍO PUELO: APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS

Rodrigo Aguayo G.¹, José Vargas B.¹ y Jorge León M.^{2,3}

^{1,2}Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile.

²Facultad de Ciencias, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile

³Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR), Concepción, Chile.

E-mail: rodaguayo@udec.cl, jvargas@udec.cl, leonmunozjorge@gmail.com

Introducción

La zona marino-costera de la fracción norte de la Patagonia chilena (<46°S) se constituye como uno de los complejos interconectado de fiordos, bahías y canales más vasto del planeta, cuyas características oceanográficas están caracterizadas por altas contribuciones de agua dulce (Dávila et al., 2002).

Los ríos son una de las fuentes principales de estos aportes influenciando fuertemente la circulación y condiciones estuarinas estos sistemas costeros (Valle-Levinson et al., 2007, León-Muñoz et al., 2013)

Durante las últimas décadas los caudales de los ríos de esta zona de Chile han marcado alguno de los registros más bajos de las últimas 8 décadas. De forma acoplada ha aumentado la recurrencia y la magnitud de eventos anómalos en los fiordos Nor-Patagónicos (León-Muñoz et al., 2018), principalmente en años Niño cuando las precipitaciones y los caudales son inferiores a los promedios históricos (Garreaud, 2018).

Frente a estos patrones temporales surge la necesidad de generar herramientas que permitan proyectar el comportamiento hidrológico (caudal, régimen) de estos ríos bajo condiciones climáticas plausibles de acontecer en escenarios de mayor variabilidad climática.

Área de estudio



Figura 1.- Cuenca del río Puelo.

El área de estudio seleccionada fue la cuenca binacional del río Puelo (Figura 1), la cual presenta un área de 9.112 km² (6.041 km² Argentina, 3.071 km² Chile). En esta cuenta la influencia de la cordillera de los Andes es evidente, registrándose fuertes gradientes espaciotemporales en un gran porcentaje de las variables involucradas en la modelación hidrológica.

El río Puelo se conforma por los aportes de numerosos tributarios y lagos los cuales controlan el régimen hidrológico,

funcionando como importantes fuentes almacenamientos y regulación.

El río Puelo en su desembocadura (fiordo Reloncaví) registra un caudal medio anual de 640 m³/s y un patrón de descarga pluvionival caracterizado por una amplia variación interanual. Durante las últimas décadas los caudales en la sección final del río Puelo describen un decrecimiento significativo, atribuible además a gran parte de los otros principales ríos de la zona norte de la Patagonia chilena (Lara et al., 2008).

Metodología

La esencia del modelo hidrológico propuesto (Figura 2) se basa en el trabajo de Vargas et al. (2012), donde el caudal en el punto de cierre de la cuenca es la suma de la escorrentía directa y el flujo base. Las variables de entrada involucradas son la precipitación, la temperatura y el área nival, además se consideran como entradas atemporales los niveles de los lagos (RLQ) y las características de cobertura y uso del suelo (CUS).

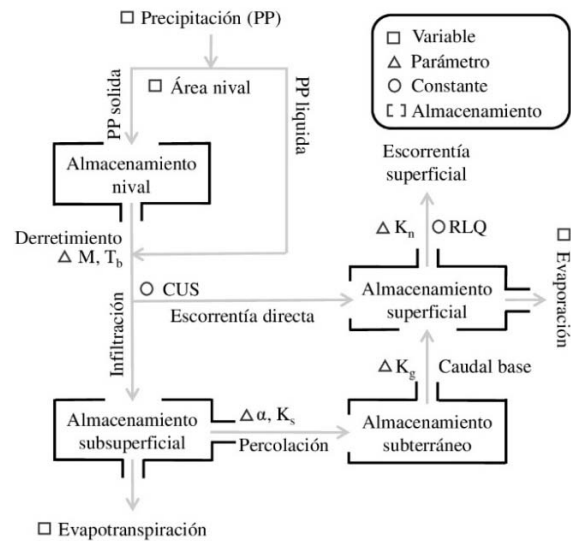


Figura 2.- Esquema del modelo hidrológico.

El modelo se fundamenta en el uso del método de la Curva Número para evaluar la generación de escorrentía superficial, realizando el balance de masa a paso mensual. Dentro de las modificaciones introducidas, destaca pasar de un modelo agregado a uno semi-distribuido debido a los importantes gradientes orográficos y longitudinales, y el cambio de las relaciones lineales entre el almacenamiento superficial y el caudal de salida.

El ingreso de las entradas del modelo hidrológico demandó:

i) Caracterización biogeográfica y edafológica de la cuenca a través de la extracción de la cobertura de suelos del producto MODIS MCD12Q1 y la obtención de las granulometrías de la base de datos *Harmonized World Soil v1.2*. En el primer caso los datos fueron validados con información del Catastro de los

Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF, 2014), mientras que en la fracción argentina la validación se realizó en función de la base de datos geográfica del Instituto Geográfico Nacional de Argentina (IGN).

ii) Levantamiento de información de las estaciones hidro-meteorológicas pertenecientes a la Dirección General de Aguas en Chile y la Subsecretaría de Recursos Hídricos en Argentina. Las variables recolectadas fueron: precipitación, temperatura, caudales y niveles de lagos, las cuales fueron sometidas a análisis cluster, consistencia y relleno estadístico.

iii) Obtención, validación y corrección de variables que incluyen el uso de sensores remotos. En el caso de la precipitación se opta por el satélite CHIRPSv2 por su buen comportamiento a lo largo de Chile (Zambrano *et al.*, 2017). La corrección del sesgo se realiza mediante polígonos de Thiessen modificados por los patrones espaciales que presenta el satélite CHIRPSv2. La evapotranspiración potencial (PET) se calcula mediante la fórmula de Thornthwaite a partir del producto de temperatura MOD11B3, el cual fue corregido mediante regresiones lineales múltiples con las observaciones. La evaporación desde la superficie libre estima mediante relaciones entre la PET y un evaporímetro ubicado en la cuenca. Finalmente, el área nival es obtenida de los productos MODIS MOD10A2 y MYD10A2. Debido a la abundante presencia de nubes durante la época invernal fue aplicado el algoritmo propuesto por Daniare *et al.* (2017), el cual considera la elevación y un filtro espacio-temporal.

La calibración del modelo hidrológico involucra la minimización de una función objetivo [1] por subcuenca desde aguas arriba hacia aguas abajo para el periodo 2003-2010. En todos los casos la validación de los desempeños se realiza mediante el índice modificado de Kling-Gupta (KGE) (Kling *et al.* 2012); en el caso de los caudales el periodo validado fueron los siete años siguientes a la calibración (2011-2017), completando así, 15 años de análisis.

$$F. O. = \min \sum (Q_{sim} - Q_{obs})^2 \quad [1]$$

Resultados

El modelo hidrológico pese a ser una simplificación gruesa de los procesos físicos que se desarrollan dentro de la cuenca fue capaz de representar de buena forma los caudales del periodo analizado, alcanzando un índice KGE superior a 0,75 en la etapa de calibración y validación para la estación “Río Puelo en Carrera Basilio” ubicada cerca de la desembocadura (Figura 3).

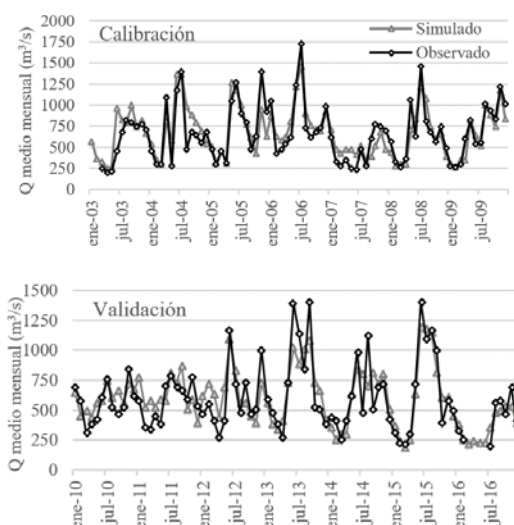


Figura 3.- Desempeño en estación “Río Puelo en Carrera Basilio”.

Discusión

La inclusión de sensores remotos en la modelación hidrológica viene a suplir las falencias de las estaciones meteorológicas en la representación de las variables involucradas en el ciclo hidrológico de la cuenca. La distribución espacial y temporal arrojó importantes gradientes latitudinales y altitudinales, dados por la transición geográfica hacia Argentina, registrando 3000mm de diferencia ($PP_{media\ anual}$) en solo 100km.

En específico, la baja del rendimiento del producto de precipitación CHIRPSv2 se debió a que no logró capturar los eventos convectivos ni los valores medios de la precipitación media anual en la fracción Argentina. Con relación al producto satelital de evapotranspiración potencial MOD16A2, la validación arrojó bajos desempeños que se explican porque la fórmula de Hargreaves no alcanza a captar la variabilidad interanual al solo considerar la temperatura.

Se concluyó que pese a los alcances que presentan estos productos, fueron capaces de capturar los patrones presentes en las observaciones, por lo que se reconocen como una herramienta que no viene reemplazar las observaciones, si no como un complemento a la modelación hidrológica en zonas de transiciones importantes como la Patagonia.

Referencias

- CONAF, UACH (2004). “Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de recursos Vegetacionales Nativos de la Región de Los Lagos”. Corporación Nacional Forestal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile
- Dariane, A. B., A. Khoramian, y E. Santí (2017). “Investigating spatiotemporal snow cover variability via cloud-free MODIS snow cover product in Central Alborz Region”. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 202, pp. 152-165.
- Dávila, P. M., D. Figueroa y E. Müller (2002). “Freshwater input into the coastal ocean and its relation with the salinity distribution off austral Chile”. *Continental shelf research*, Vol 22, No. 3, pp. 521-534.
- Garreaud, R. D. (2018). “Record-breaking climate anomalies lead to severe drought and environmental disruption in western Patagonia in 2016”. *Climate Research*, Vol. 74, No. 3, pp. 217-229.
- Kling, H., M. Fuchs y M. Paulin (2012) “Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios”. *Journal of Hydrology*. Vol. 424, pp. 264–277.
- Lara, A., R. Villalba y R. Urrutia (2008) “A 400-year tree-ring record of the Puelo River summer–fall streamflow in the Valdivian Rainforest eco-region, Chile”. *Climatic Change*, Vol. 86, No. 3, pp. 331-356.
- León-Muñoz, J., R. Marcé y J. L. Iriarte (2013) “Influence of hydrological regime of an Andean river on salinity, temperature and oxygen in a Patagonia fjord, Chile”. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol. 47, No. 4, pp. 515-528
- León-Muñoz, J., M. A. Urbina, R. Garreaud J. L y Iriarte (2018). “Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016)”. *Scientific Reports*, Vol. 8, No. 1, pp. 1330.
- Valle-Levinson, A., N. Sarkar, R. Sanay, D. Soto, y J. León (2007). “Spatial structure of hydrography and flow in a Chilean fjord, Estuario Reloncaví”. *Estuaries and coasts*, Vol. 30, No. 1, pp. 113-126.
- Vargas, J., L. de la Fuente, y J. L. Arumí (2012) “Balance hídrico mensual de una cuenca Patagónica de Chile: Aplicación de un modelo parsimonioso”. *Obras y proyectos*, Vol. 12, pp. 32-41.
- Zambrano-Bigiarini, M., A. Nauditt, C. Birkel, K. Verbist y L. Ribbe (2017). “Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile”. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 21. No. 2, pp. 1295-1320.