

## PROYECCIONES ESTACIONALES DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL LAGO SAN ROQUE

Javier Alvarez<sup>1,2</sup>, C. Marcelo García Rodríguez<sup>1,2</sup>, Nicolás F. Guillén<sup>1,2</sup>, Teresa M. Reyna<sup>2</sup>,  
Rodrigo Valdés-Pineda<sup>3</sup> y Juan Valdés<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEFyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFyN). Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>University of Arizona, Harshbarger Bldg, Room 318E, Tucson AZ 85721, Arizona, Estados Unidos de América.

E-mail: javieralvarez.ic@gmail.com, cgarcia2nmc@gmail.com, nfguillen@hotmail.com, teresamaria.reyna@gmail.com, jvaldes@u.arizona.edu

### Introducción

La disponibilidad de herramientas para la gestión de reservorios de agua es de suma importancia para los decisores, ya que contribuye a la implementación de acciones estratégicas. Estas acciones respecto a los recursos hídricos, deberían buscar satisfacer las principales necesidades de la población sin afectar el ambiente que lo circunda, es decir protegiendo al medio ambiente, el cual es uno de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (Naciones Unidas, 2000). En este contexto es importante conocer cuáles son las posibles dinámicas climáticas en el futuro cercano y su impacto en la región de interés.

El dique San Roque, es uno de los reservorios artificiales de mayor relevancia económica en la Provincia de Córdoba (Argentina), con un espejo de agua que, a lo largo de sus costas, ha presenciado el repentino desarrollo de centros urbanos.

Este dique fue concebido, para proteger a la Ciudad de Córdoba ante extremos hídricos. Es decir, es útil tanto para el almacenamiento de agua de lluvias en épocas estivas (proveyendo de agua potable a la ciudad de Córdoba todo el año), como atenuador de crecientes de la cuenca alta del río Suquia. A su vez, con el tiempo se han ido estableciendo otros usos como Generación de Energía Hidroeléctrica, Pesca, Vertidos de Efluentes Sanitarios, Recreación y Turismo, Urbanización en las márgenes, entre otros. Debido a los múltiples usos es fundamental optimizar la gestión y administrar el recurso hídrico, evitando así costos y pérdidas innecesarias.

### Objetivos

El objetivo del presente trabajo consiste en estudiar la aplicabilidad de pronósticos climáticos estacionales realizados por diferentes Modelos Climáticos en el contexto del North American Multi - Model Ensemble (NMME, por sus siglas en inglés), con fines hidrológicos en la cuenca alta del río Suquia.

### Área de estudio

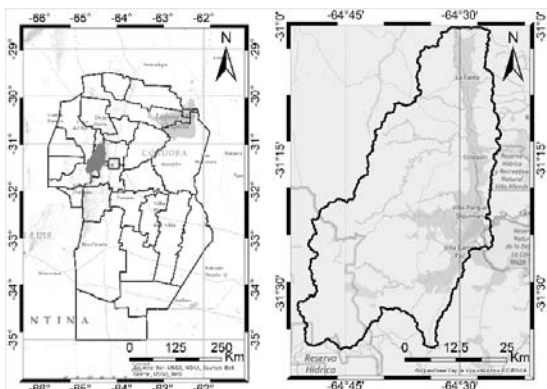


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Dique San Roque.

La cuenca alta del río Suquia (Figura 1) se ubica en el

departamento de Punilla al Oeste de la Provincia de Córdoba. Esta cuenca posee un área de 1590 km<sup>2</sup> y caracterizada por un relieve montañoso, concentra en el Dique San Roque 4 ríos: Los Chorrillos, Las Mojarras, San Antonio y Cosquín. Este dique se encuentra en las coordenadas 31° 22' 23" Sur y 64° 25' 66" Oeste, y permite almacenar 190,52 Hm<sup>3</sup>.

La cuenca de estudio de hidrología típica torrencial de montaña posee un caudal medio anual del río es de 10,90 m<sup>3</sup>/s, habiéndose observado crecidas de hasta 6423,00 m<sup>3</sup>/s, debido al pronunciado gradiente topográfico de 2300 a 650 msnm en sentido Oeste-Este y a las lluvias intensas de la región. Por otro lado, las isohietas de precipitación rondan de 800mm a 700mm.

### Materiales y métodos

Un Modelo Climático es una herramienta numérica utilizada para simular el pasado, presente y futuro del clima de la Tierra. En general los GCMs son convenientes para dar predicciones climáticas de gran escala, pero en la actualidad sin relevancia directa a evaluaciones hidrológicas al nivel de cuencas de ríos (Deidda et al. 2013).

El NMME (Kirtman et al. 2014) es un sistema de pronósticos estacionales experimental de modelos climáticos acoplados que proceden de diferentes instituciones, entre estas NOAA/NCEP, NOAA/GFDL, IRI, NCAR, NASA, y CMC de Canada. Por otro lado, los datos pluviométricos de los pronósticos climáticos son comparados con observaciones de estaciones meteorológicas de la red INA-CIRSA en la cuenca (Figura 1).

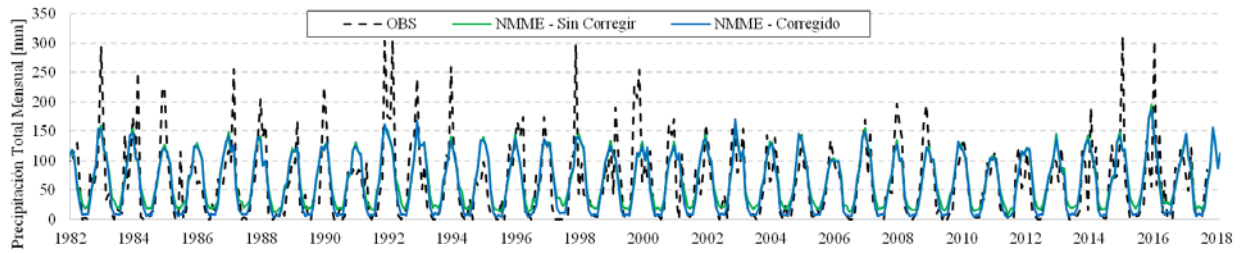
La base de datos de pronósticos históricos fue obtenida del International Research Institute for Climate and Society (<https://iri.columbia.edu/>). La resolución espacial disponible en el servidor es de 0.5 grid por píxel (aproximadamente 50km) y, en el período de validación, la ventana temporal resulta del Ene/1980 a la fecha. Del mismo modo, los pronósticos utilizados son de resolución temporal mensual y con horizonte temporal de 6 (seis) meses, para cada uno de los 8 (ocho) modelos climáticos.

Por último, antes de asimilar los datos pronosticados del NMME al modelo hidrológico es conveniente realizar una corrección de sesgo. Para esto, se utiliza la técnica estadística de relación entre medias:

$$P_{HISTO_i}' = \frac{P_{HISTO_i}}{\left(\frac{\mu_{NMME}}{\mu_{OBS}}\right)} \quad [Ec 1.]$$

La técnica anterior, se considera adecuada para la resolución temporal de los modelos del NMME y, junto con la corrección de los sesgos, esto permite tener pronósticos climáticos con base física, respondiendo a los patrones observados in-situ.

Para simular el comportamiento hidrológico de la cuenca alta de la cuenca alta del río Suquia se utilizó el modelo hidrológico SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure, Lopes et al., 1982). El modelo SMAP es un modelo hidrológico determinístico del tipo agregado y a escala mensual, que considera las diferentes partes del ciclo hidrológico a través de reservorios por medio de ecuaciones características.



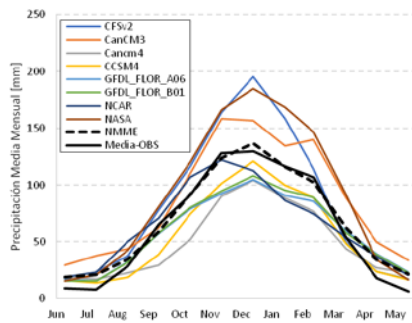
**Figura 4.** Serie mensual media de NMME con y sin corrección de sesgo (verde y azul, respectivamente), respecto a las observaciones mensuales en la cuenca del Dique San Roque (en negro punteado) [mm/mes].

SMAP fue calibrado y parametrizado para la cuenca de este río con observaciones de precipitaciones del INA-CIRSA y caudales medios diarios estimados mediante los niveles del Dique San Roque, desde enero del 1945 a la fecha. Para evaluar la calidad de la calibración se utilizó el indicador Nash-Sutcliffe:

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum(Q_{obs} - Q_{obs\ media})^2} \quad [Ec. 2]$$

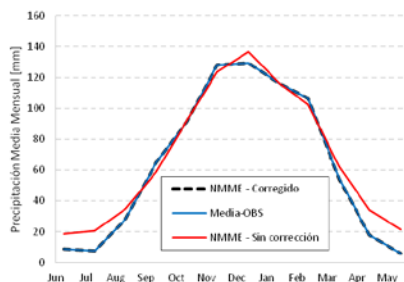
## Resultados

La figura 2, a continuación, muestra los medios mensuales de los pronósticos históricos de cada modelo del NMME con respecto a su promedio y a la media de las observaciones en la misma ventana de análisis (Ene-1982 a Oct-2017):



**Figura 2.** Media Mensual de los modelos NMME en la cuenca del Dique San Roque con respecto a las observaciones [mm/mes].

En la figura 2 puede observarse que, en algunos meses de alta precipitación, los errores observados se aproximan al 50%, este nivel de error en modelos de previsión es inaceptable y no pueden ser usados para planificación a escala mensual. Para lidiar con esta limitación, la figura 3 muestra la corrección de sesgo realizada con la técnica estadística de relación de medias, sobre los pronósticos históricos del NMME.

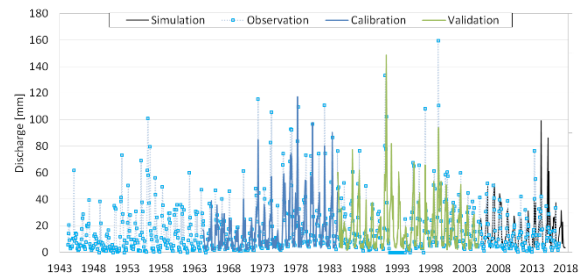


**Figura 3.** Media Mensual de los modelos NMME con corrección de sesgo en la cuenca del Dique San Roque [mm/mes].

Como se observa en la figura 3, el sesgo entre la media de los modelos de NMME y las observaciones se redujo levemente. Sin embargo la media corregida de NMME se ajusta perfectamente a la observada. Adicionalmente, para observar el impacto en la serie completa, la figura 4 muestra las medias históricas sin corrección y corregidas de NMME con respecto a las observaciones. Aquí, se observa que, a pesar de la corrección efectuada, continúan manteniéndose algunas diferencias en los valores de exceso de precipitación entre los NMME corregidos y las observaciones, valores que alcanzan hasta el 50%.

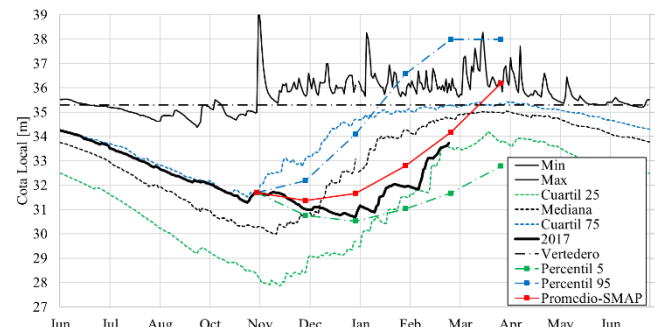
Por otra parte, a partir de los registros de precipitación y caudal

observados, la figura 5 muestra los caudales simulados con SMAP en la cuenca:



**Figura 5.** Caudal observado y simulado en la cuenca [mm/mes].

Para la parametrización adoptada en esta simulación, los índices de Nash-Sutcliffe resultaron de 0.80 y 0.58 para la calibración y validación, respectivamente. Estos valores se encuentran en el rango de aceptables. Por último, los caudales simulados con SMAP a partir del pronóstico de Noviembre del NMME, fueron ingresados al Dique San Roque para comparar el nivel con el observado (figura 6).



**Figura 6.** Niveles observados y pronosticados en el Dique San Roque.

Como se observa en la figura anterior, el nivel medio pronosticado se ubica dentro del intervalo de confianza de los modelos y en algunos meses, próximo a la media de los modelos.

## Conclusiones

La metodología de corrección de sesgo utilizada, muestra un buen desempeño en los valores medios, aunque presentaría gran incertidumbre para los extremos hídricos.

Poder aplicar los pronósticos a la gestión de los recursos hídricos resulta de especial interés permitiendo a los decisores generar políticas de previsión sobre el manejo del dique para prever los potenciales riesgos hídricos en el Dique San Roque y ampliar su aplicación a los restantes reservorios de la región.

## Referencias

- Deidda R. et al.** (2013). "Regional climate models' performance in representing precipitation and temperature over selected Mediterranean areas". *Hydrology and Earth System Sciences*, No. 17, 2013, pp. 5041-5059. DOI:10.5194/hess-17-5041-2013.
- Kirtman Ben P. et al.** (2014). "The North American Multimodel Ensemble". *American Meteorological Society*, Apr. 2014, pp. 585-601..
- Organización de las Naciones Unidas** (2000). "DECLARACIÓN DEL MILENIO". *8a. sesión plenaria de Asamblea General*.