

Variabilidad del caudal del río Bermejo en la alta cuenca. Relación con la precipitación y principales forzantes del sistema acoplado océano-atmósfera.

Juan Olmo Aguirre Glik^{1,4}, Santiago I. Hurtado^{2,4}, Pablo G. Zaninelli^{3,4}, Santino Adduca^{2,5}.

¹ Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Buenos Aires, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina.

³ Departamento de Matemática e Informática Aplicadas a las Ingenierías Civil y Naval, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Profesor Aranguren, 3, 28040 Madrid, Spain

⁴ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP). La Plata, Argentina.

⁵ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA). Buenos Aires, Argentina.

Palabras Clave: El Niño-Oscilación del Sur; saltos climáticos; Dipolo del Océano Índico.

1) INTRODUCCIÓN

El río Bermejo es uno de los principales afluentes de los ríos Paraguay y Paraná, desempeña un papel esencial en la economía y el entorno del norte argentino, destacando su importancia en el sector agroindustrial. Estudios previos han explorado la variabilidad de la precipitación y el caudal en la alta cuenca del río. En la escala interanual, investigaciones como las de González & Flores (2010), González & Murgida (2012), González et al. (2012) y Ayala et al. (2023) han identificado correlaciones entre la precipitación y las temperaturas superficiales de los océanos Pacífico e Índico en distintos momentos del año. Sus resultados sugieren que la fase fría de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) podría estar asociada con mayores precipitaciones en verano y otoño, mientras que su fase cálida en agosto estaría vinculada a mayores lluvias en primavera. Además, mayores precipitaciones estivales podrían relacionarse con anomalías negativas en la temperatura superficial del océano Índico. Por otro lado, Castino et al. (2017) han asociado variabilidades de 2 a 5 años en el caudal del río con fluctuaciones en la temperatura superficial del Atlántico sur y el ENOS, mientras que en la escala interdecadal, variabilidades de baja frecuencia (~20 años) se ha vinculado a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). En este contexto, y con el objetivo de profundizar en la relación entre el caudal y los forzantes climáticos de gran escala, este estudio analizó datos de caudal de dos estaciones telemétricas, Aguas Blancas y Pozo Sarmiento, ubicadas en la alta cuenca del río Bermejo.

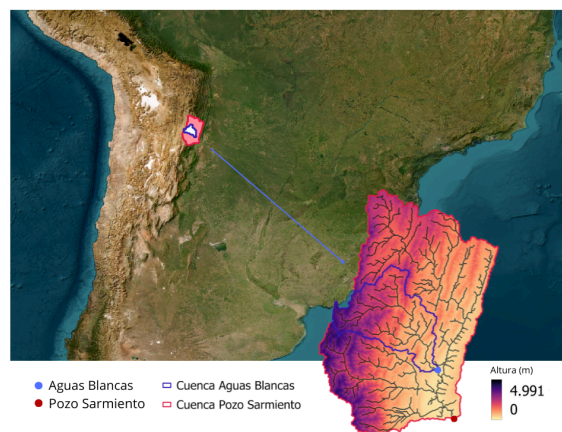


Figura 1: Ubicación satelital del área de estudio junto con la red de drenaje y la elevación del terreno en metros

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron datos históricos de caudal medio diario (1941-2018) provenientes de las estaciones Aguas Blancas y Pozo Sarmiento. Se aplicó un análisis de quiebres y tendencias para evaluar la estabilidad de las series temporales, complementado con un análisis espectral mediante la Transformada Rápida de Fourier para identificar periodicidades significativas. Se identificaron los meses del año donde la precipitación influye más en la variabilidad anual del caudal mediante correlaciones con tres bases de precipitación distintas, CRU, GPCC y ERA5. Además, se emplearon datos de diversas variables atmosféricas y oceánicas para calcular composiciones en diferencia y flujos de actividad de onda, con el fin de explorar los mecanismos dinámicos asociados a las variaciones de caudal.

3) RESULTADOS

Se identificaron dos fases hidrológicas bien definidas: una húmeda (noviembre a abril) y una seca (mayo a octubre), ambas moduladas por el monzón sudamericano y el régimen pluvial de la región. Se identificaron puntos de quiebre en la serie de caudales, con eventos clave en las décadas de 1950 y 1970 (Fig. 2), los cuales pueden asociarse a cambios en la variabilidad climática de gran escala, como el salto climático de 1976-1977 y variaciones en la PDO. Además, se observó un incremento en los caudales asociado a estos quiebres con aumentos de hasta un 40%.

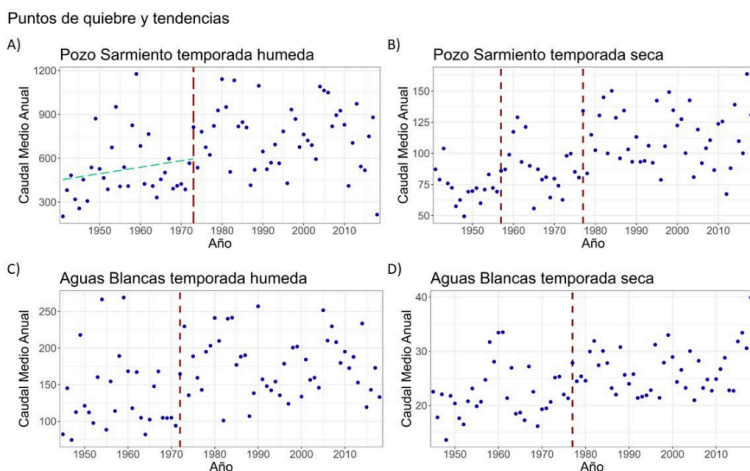


Figura 2: Datos medios anuales de caudal en la estación Aguas Blancas y Pozo Sarmiento. Las líneas rojas marcan los puntos de quiebre encontrados y la línea celeste marca la regresión lineal significativa luego de haber aplicado el test de Mann Kendall con un nivel de significancia $\alpha = 0.1$

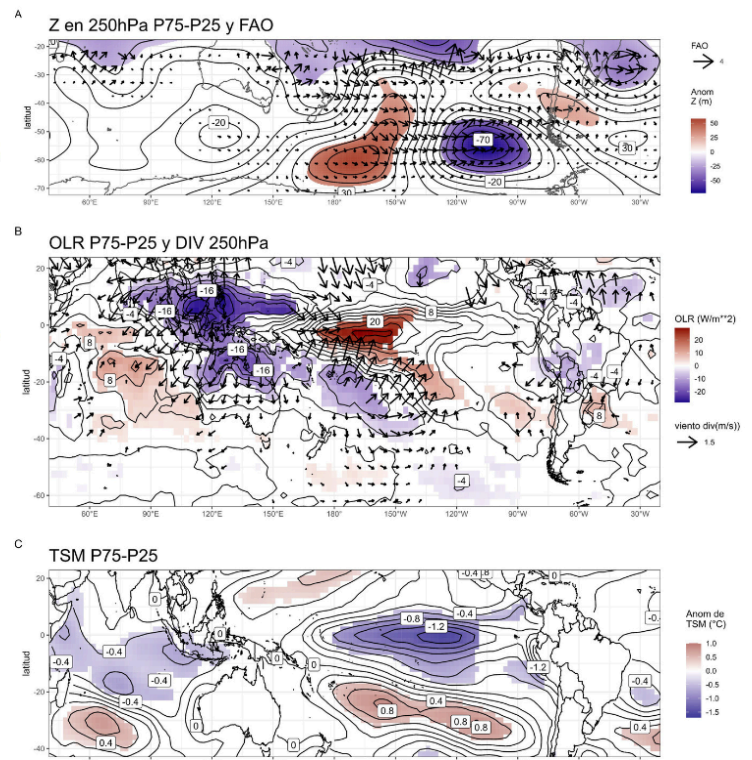


Figura 3: Composiciones de anomalías de Altura geopotencial en 250hPa (sombreado) y flujo de actividad de onda (vectores) (panel A), OLR (sombreado) y viento divergente en 250hPa (vectores) (panel B) y TSM (panel C). En los meses de enero a abril para la diferencia de percentiles p75-p25 del caudal medio anual en Aguas Blancas. Los colores representan las diferencias de anomalías significativas. Vectores en negro representan el flujo significativo. Nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Por otra parte, el análisis espectral reveló periodicidades asociadas a forzantes climáticos, sugiriendo que la variabilidad interanual del caudal está modulada por el ENOS, el IOD y la TSA, mientras que la variabilidad bidecadal podría estar vinculada a la PDO. Se pudo identificar un patrón de circulación atmosférica que modula el caudal de la alta cuenca del río Bermejo (Fig. 3). Este patrón está asociado a trenes de onda de Rossby, forzados por anomalías en las temperaturas superficiales de los océanos Pacífico e Índico, lo que resalta la conexión entre el caudal del río y los fenómenos del ENOS y el IOD.

4) CONCLUSIONES

Se identificaron puntos de quiebres en las series de caudal relacionados con cambios climáticos de gran escala, como el salto climático de 1976-1977 y la PDO y a partir de los cuales se observó un incremento en el caudal. Se evidenció que los caudales anómalos están influenciados por la interacción entre el ENOS y el IOD, modulando patrones de circulación que afectan la precipitación en la alta cuenca. Los resultados obtenidos en este trabajo subrayan la relevancia de incorporar la variabilidad climática de gran escala en la gestión y planificación de los recursos hídricos en la región.

5) REFERENCIAS

- Ayala, S. N., González, M. H., & Rolla, A. L., 2023: A statistical forecast scheme of precipitation in the upper bermejo river basin in argentina. *International Journal of River Basin Management*, 21(2), 153–166, <https://doi.org/10.1080/15715124.2021.1932952>
- González, M. H., Cariaga, M. L., & Skansi, M. d. I. M., 2012: Some factors that influence seasonal precipitation in argentinean chaco. *Advances in Meteorology*, 2012, <https://doi.org/10.1155/2012/359164>
- González, M. H. & Flores, O. K., 2010: Análisis de la precipitación en la llanura chaqueña argentina y su relación con el comportamiento de la circulación atmosférica y las temperaturas de la superficie del mar. *Meteorológica*, 35(2), 53–66.
- González, M. H. & Murgida, A. M., 2012: Seasonal summer rainfall prediction in bermejo river basin in argentina. *Climate Variability—Some Aspects, Challenges and Prospects*, 7, 141–160.
- Castino, F., Bookhagen, B., & Strecker, M. R., 2017: Oscillations and trends of river discharge in the southern central andes and linkages with climate variability. *Journal of Hydrology*, 555, 108–124, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.001>