

PRONÓSTICO ESTACIONAL DE CAUDALES MEDIANTE PERSISTENCIA Y ANALOGÍA

Santiago Guizzardi¹, Leandro Giordano² y Martin Sabarots Gerbec¹

¹ Subgerencia del Laboratorio del Instituto Nacional del Agua (INA)

² Subgerencia del Sistema de Información y Alerta Hidrológica del Instituto Nacional del Agua (INA)
santiagoguizzardi@gmail.com, leangior@gmail.com, msabger@gmail.com

Introducción

Los ríos Paraguay-Paraná forman una importante vía fluvial. En Argentina, constituye la principal ruta de salida de la producción agrícola del país, cuya magnitud (del orden de los cien millones de toneladas anuales) la torna altamente relevante a escala mundial (Menéndez, 2021). Este sistema es también un corredor de humedales que une el Pantanal (cabecera de Paraguay) con el Delta del Paraná (desembocadura del Río de la Plata), y su dinámica está fuertemente relacionada con la biodiversidad (Giordano, 2021).

El pronóstico de series de niveles en las zonas ribereñas es un insumo esencial para las distintas actividades que se desarrollan. Comprender la condición hidrológica de la vía fluvial y proporcionar pronósticos y alertas de calidad resulta fundamental (Guizzardi, 2022).

En este trabajo se evalúan dos metodologías para el pronóstico estacional de caudales en cinco estaciones hidrométricas en la cuenca del Río de la Plata: Concepción (Concepción, Paraguay), Puerto Pilcomayo (Formosa, Argentina), Corrientes (Corrientes, Argentina), Paraná (Entre Ríos, Argentina) y El Colorado (Formosa, Argentina) (Figura 1).

Los métodos evaluados están basados en la persistencia hidrológica y en series de caudales análogos. La hipótesis de estos enfoques es que las series de caudales registradas en el pasado, que son similares al período más reciente, pueden brindar información valiosa sobre los caudales que ocurrirán en el futuro cercano. El derrame de una cuenca puede entenderse como la suma de la precipitación que recibe, menos las pérdidas por evaporación y la abstracción por almacenamiento. Durante varios meses consecutivos, la cantidad de lluvia y la evaporación potencial estarán influenciadas por el estado y la evolución de los patrones de circulación atmosférica a gran escala. La respuesta del caudal del río también dependerá de las características y el estado de la cuenca en sí. La suposición fundamental al utilizar series de caudales análogos como método de pronóstico es que existen trayectorias específicas que el sistema hidroclimático puede seguir y que pueden repetirse en el tiempo. (Svensson, 2016).

Datos y estaciones hidrométricas

Se utilizaron datos de caudal medio diario de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo. La Subgerencia de Sistemas de Información y Alerta Hidrológica (SIyAH) del Instituto Nacional del Agua (INA) recibe datos en tiempo real de las estaciones hidrométricas a lo largo de la cuenca del Plata. Esta tarea resulta esencial para obtener los datos más recientes y poder generar los pronósticos para los próximos meses.

Previamente a utilizar los datos se realizó un control de calidad. Donde se eliminaron valores atípicos y se regularizaron las series. Las estaciones tienen más de 30 años de observaciones. En Concepción, Puerto Pilcomayo, Corrientes y Paraná los registros comienzan en 1910 (113 años) y en El Colorado desde 1969 a 2017 (48 años).

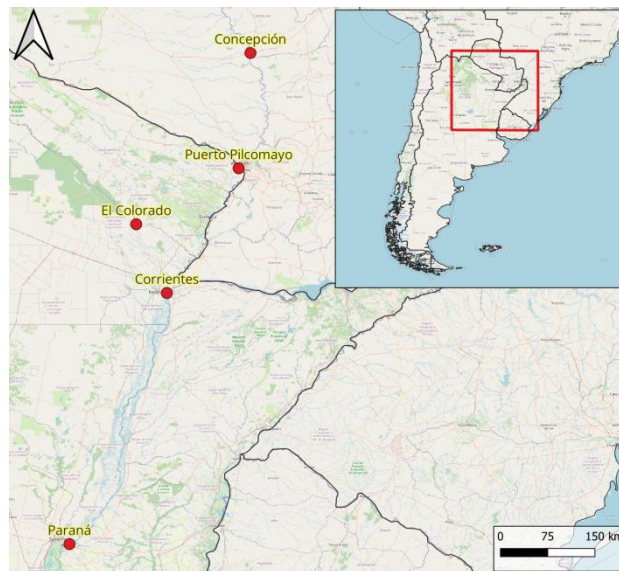


Figura 1.- Estaciones hidrométricas seleccionadas.

Métodos

Se obtuvieron los promedios mensuales de los caudales de los ríos para cada estación. Estos promedios mensuales se calcularon a partir de los caudales medios diarios, para todos los meses con 25 o más observaciones diarias. En caso contrario, se omitió el cómputo de la serie.

Pronóstico de persistencia

Para el pronóstico de persistencia, se utiliza el caudal del último mes con un registro completo de observaciones para determinar el percentil dentro de los caudales medios mensuales del mismo mes. Utilizando este percentil, se busca el valor correspondiente del caudal entre los caudales medios mensuales de cada mes para los próximos tres meses. Por consiguiente, el pronóstico preserva el ciclo estacional de los caudales.

Pronóstico de años análogos

Para el pronóstico de años análogos, primero se realiza una transformación logarítmica de los caudales medios mensuales. Para cada uno de los 12 meses (mes), se calcula el caudal medio mensual ($m_{i,mes}$), y la desviación estándar ($s_{i,mes}$), para la i -ésima estación, a partir de los caudales medios mensuales transformados logarítmicamente, $q_{i,t}$. Luego, se calcula una serie de caudales mensuales estandarizadas ($a_{i,t}$), como:

$$a_{i,t} = \frac{q_{i,t} - m_{i,mes}}{s_{i,mes}} \quad [1]$$

Esto hace que la distribución de los caudales se asemeje a una distribución normal, de forma tal que ambos extremos (aguas bajas y aguas altas) presenten pesos estadísticos similares.

Para cada serie de caudales mensuales (transformados), se busca en el registro histórico los años análogos más similares en comparación con los caudales observados en los últimos 6 meses. Es decir, se comparan con todas las posibles secuencias históricas de caudales que abarcan los mismos meses del año. Esto implica que hay un análogo potencial disponible por año. La métrica adoptada para el cómputo de la distancia/similitud

entre las series es el error cuadrático medio (RMSE).

De las series de análogos potenciales, se seleccionan los N (en este caso con N=5) más similares al pasado reciente. Con las series seleccionadas se realiza un pronóstico medio ponderado utilizando los RMSE calculados para construir pesos, que se aplican a cada una de las series de caudales análogos históricos.

El RMSE se calcula para cada análogo potencial en el registro observado, como

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{k=1}^D (a_p(k) - a_r(k))^2} \quad [2]$$

donde $a_p(k)$ es el caudal transformado para cada mes k en el análogo potencial de longitud D (en este caso con D=6), y $a_r(k)$ es el caudal transformado correspondiente en el pasado reciente.

Los RMSE para los N análogos seleccionados se usan para calcular el peso, w, para cada análogo, como

$$w(b) = \frac{1}{RMSE(b)} / \sum_{b=1}^N \frac{1}{RMSE(b)} \quad [3]$$

El pronóstico medio ponderado, $a_f(m)$, para cada mes m (1,2,3), se calculan como

$$a_f(m) = \sum_{b=1}^N w(b) a_{p,b}(D + m) \quad [4]$$

donde $a_{p,b}$ es el vector de caudales transformados para el potencial análogo.

Los caudales de los ríos (m^3/s) se obtienen invirtiendo la estandarización de la ecuación (1), restándole la media de la distribución de logaritmos de caudal mensual al producto entre el valor de anomalía prevista y el desvío estándar de dicha distribución mensual, y luego invirtiendo la transformación logarítmica.

Resultados

Para las dos metodologías se realizó una evaluación retrospectiva de caudales. El desempeño se evaluó por medio de las siguientes métricas: Nash, Tau de Kendall, coeficiente de correlación de Pearson (PCC) y error medio cuadrático (RMSE) en cada una de las cinco estaciones seleccionadas.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2 para la metodología de Persistencia y en la Tabla 3 y Tabla 4 para la metodología por años Análogos.

En la evaluación se empleó la serie completa de datos disponibles en cada estación. Sin embargo, las métricas se calcularon a partir del tercer año en el caso de la Persistencia y a partir del undécimo año en el caso de la Analogía. Esto permitió contar con datos históricos sobre los cuales calcular percentiles o buscar años análogos según corresponda.

Tabla 1.- Pronóstico de persistencia: Indicado

Estación	Nash			Tau de Kendall		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.79	0.6	0.46	0.73	0.63	0.56
Pto. Pilcomayo	0.68	0.35	0.13	0.66	0.51	0.43
Corrientes	0.6	0.27	0.07	0.6	0.46	0.38
Paraná	0.66	0.35	0.18	0.66	0.5	0.41
El Colorado	0.79	0.68	0.56	0.78	0.74	0.71

Estación	Coef. correlación			RMSE		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.89	0.791	0.72	468.8	651.9	757.4
Pto Pilcomayo	0.83	0.67	0.56	918.2	1307	1513
Corrientes	0.79	0.629	0.54	3317	4462	5014
Paraná	0.82	0.673	0.59	3059	4185	4709
El Colorado	0.89	0.844	0.79	208.3	252.5	297.1

Tabla 3.- Pronóstico de persistencia

Estación	Nash			Tau de Kendall		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.71	0.56	0.46	0.68	0.58	0.52
Pto. Pilcomayo	0.59	0.4	0.3	0.58	0.46	0.4
Corrientes	0.46	0.27	0.18	0.51	0.4	0.35
Paraná	0.53	0.32	0.23	0.56	0.43	0.38
El Colorado	0.69	0.7	0.74	0.73	0.73	0.75

Tabla 4.- Pronóstico de persistencia

Estación	Coef. correlación			RMSE		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.85	0.75	0.68	560.5	686.8	767.6
Pto. Pilcomayo	0.78	0.64	0.56	1049	1256	1347
Corrientes	0.69	0.56	0.5	3845	4474	4749
Paraná	0.74	0.6	0.53	3571	4312	4615
El Colorado	0.84	0.85	0.86	242	234.4	227.6

Conclusiones

Ambos métodos resultan de sencilla implementación y su ejecución resulta computacionalmente económica, ya que sólo requieren de series de caudales mensuales (operativas). Por esto, es posible escalar su producción rápidamente, simplemente incorporando nuevas series, y así obtener productos armonizados con cobertura regional o global, lo que constituye claramente una ventaja competitiva. Específicamente, los resultados obtenidos en este trabajo fueron aceptables, más para la metodología de persistencia y particularmente, en el horizonte mensual. Por otro lado, debe observarse que las series de caudal mensual en los sitios seleccionados exhiben fuerte estacionalidad, aspecto que favorece este tipo de aproximación. Esto es, podría postularse que estos métodos pueden brindar resultados aceptables en grandes cuencas con fuerte estacionalidad y elevada memoria o inercia en la señal de caudal mensual (e.g. con fuerte estructura). En efecto, ambos métodos asumen que la condición inicial o la precedente, resumen la información suficiente como para poder realizar una inferencia sobre las posibles trayectorias en un hidrograma. Esto es una importante restricción, impuesta por la simplicidad de ambos métodos (particularmente para la selección de las analogías adecuadas). Más para el caso de cuencas sin estacionalidad notoria o de respuesta rápida, en relación con el horizonte mensual. En todo caso, puede considerarse que sirven de referencia para el desarrollo de otros métodos de pronóstico más complejos que incorporen perspectivas climáticas estacionales para la selección de analogías (Svensson, 2016), de manera tal que pueda abordarse la principal limitación observada.

Referencias Bibliográficas

- A.N. Menéndez, P.E. García, N.D. Badano, L.D. Kazimierski & S. Guizzardi (2021) "Prediction of sedimentation in an extended and heterogeneous navigation waterway, Ribagua, 8:1, 13-33, DOI: 10.1080/23863781.2022.2116367.
- L. Giordano (2021) "Preliminary evaluation of multi-model discharge forecasts for the La Plata Basin". ULYSSES Use Case Study.
- S. Guizzardi J. Bianchi, J.E. Cortese, M. Uriburu Quirno & M. Sabarots Gerbec (2022). "Forecast System Implementation in the Paraná Delta". IARH 2022, Granada, España
- C. Svensson (2016). "Seasonal river flow forecasts for the United Kingdom using persistence and historical analogues". Hydrological Sciences Journal, 61(1), 19-35.