

# ESTUDIO DE CAUDALES DEL RÍO PARANÁ EN TIMBUÉS 1905 - 2021

Pedro A. Basile<sup>(1),(2)</sup>, Gerardo A. Riccardi<sup>(1),(2),(3)</sup>, Marina L. Garcia<sup>(1),(2)</sup>

<sup>(1)</sup>DH-EIC, FCEIA-UNR; <sup>(2)</sup>CURIHAM, FCEIA-UNR; <sup>(3)</sup>CIUNR

Riobamba 245 bis, (S2000EKE) Rosario, Argentina. E-mail: pbasile@fceia.unr.edu.ar

## INTRODUCCIÓN

El caudal de un río, y su variación a lo largo del año hidrológico, se vincula a factores físicos de la cuenca, como: área, topografía, complejo suelo-vegetación, usos del suelo, etc., y a factores climáticos, entre los cuales, la magnitud y distribución espacial y temporal (estacionalidad) de las lluvias juegan un rol fundamental. De esta manera, en un mismo año hidrológico (escala intra-anual) se observan períodos de crecientes y bajantes. Asimismo, a escala inter-anual, los años con lluvias anuales superiores a las medias anuales o normales, se denominan “años húmedos”, en los cuales las crecientes son significativas y, por otra parte, en los años con lluvias anuales inferiores a las normales (“años secos”) las bajantes adquieren relevancia. El régimen hidrológico del río Paraná se caracteriza por ciclos de años húmedos y secos, que se verifican con diversos grados de severidad y extensión temporal. En este trabajo se presenta el análisis de caudales del río Paraná, a escala temporal diaria, mensual, anual y plurianual; considerando 117 años de caudales medios diarios en el cauce principal, correspondientes a la serie 1905-2021, observados en la sección de aforos Timbúes-km 456 (Sistema Nacional de Información Hídrica, SNHI de Argentina).

## CUENCA DEL RÍO PARANÁ Y SECCIÓN DE AFOROS

El área de la cuenca del río Paraná es de  $2.7 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, involucrando zonas de aporte del Sur de Brasil, todo Paraguay, Norte y Centro de Argentina y Sur-Este de Bolivia, (Fig. 1). El área de aporte con cierre en Corrientes (confluencia ríos Paraguay y Alto Paraná) es de  $2 \times 10^6$  km<sup>2</sup> aproximadamente. Las lluvias en las cuencas tributarias de los ríos Alto Paraná y Paraguay, generan la mayor parte del volumen de agua que escurre por el tramo argentino del río Paraná, desde Corrientes hasta el río de La Plata.

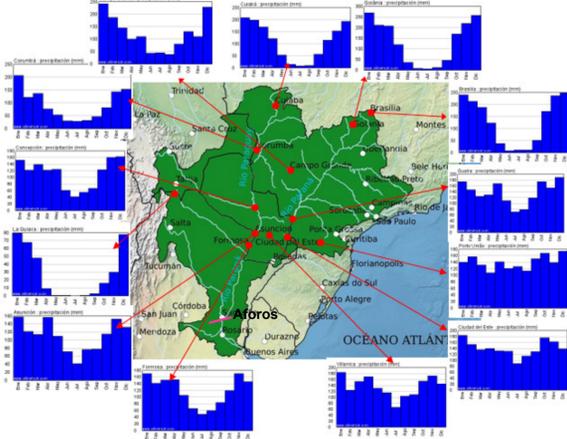


Fig. 1. Cuenca río Paraná y lluvias medias mensuales en algunos sectores.

La magnitud, distribución espacial y temporal de las lluvias a escala regional están gobernadas por el Monzón Sudamericano (sistema de circulación atmosférica estacional de América del Sur, vinculado a los Océanos adyacentes), que define el ciclo anual de lluvias en la cuenca del río Paraná.

La estación de lluvias, en la mayor parte de la cuenca, es en primavera-verano, con lluvias escasas en otoño-invierno (Fig. 1: Brasilia, Cuiabá, Campo Grande, etc.); exceptuando algunos sectores, donde a lo largo del año las lluvias medias mensuales son similares (Fig. 1: Porto União, Guairá, Ciudad del Este, etc.). En general, las lluvias máximas trimestrales acumuladas se verifican en Dic., Ene., Feb. y las mínimas en Jun., Jul., Ago.

La magnitud de la lluvia anual en la cuenca es variable y aumenta de Oeste a Este. Se registran valores medios anuales inferiores a los 600 mm al Oeste de la cuenca (en sectores con clima semiárido cálido del Sur de Bolivia y N-O de Argentina) y núcleos con valores superiores a los 2400 mm al Este (en sectores con clima subtropical húmedo del Sur de Brasil).



Fig. 2. Sección Aforos Timbúes.

La sección de aforos considerada en este estudio se ubica en Timbúes (km 456), aguas arriba del Hidrómetro de Puerto San Martín (km 448), tal como se ilustra en la Fig. 2 y cuya localización general se indica en la Fig. 1. La sección de aforos define un área de la cuenca de  $2.5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> aprox.

## METODOLOGÍA IMPLEMENTADA Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los caudales medios diarios (Qmd), serie 1/1/1905-31/12/2021 en Timbúes (SNHI), fueron procesados, realizando la depuración y el completamiento de datos faltantes; para lo cual, con los aforos disponibles (SNHI 1980-2021 y FICH 2004-2006) y los datos de niveles registrados en el hidrómetro de Puerto San Martín (SNHI y DNVN DPI), se construyó la curva nivel-caudal, la cual se utilizó para completar los caudales medios diarios faltantes en el 2020 y 2021. En el estudio se analizaron un total de 42734 datos de Qmd.

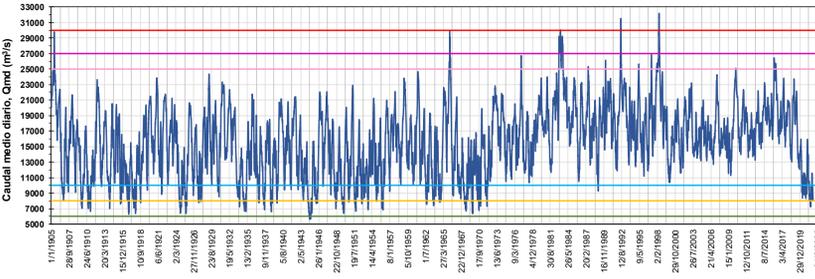


Fig. 3. Caudales medios diarios, Qmd, en cauce principal. Sección Aforos Timbúes.

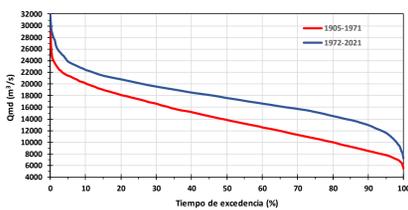


Fig. 5. Curvas de duración por subseries.

El análisis del conjunto total de Qmd de ambas subseries se sintetiza mediante sus curvas de duración (Fig. 5). Se observa que, para un mismo caudal, el tiempo adimensional de excedencia % (durante el cual dicho caudal es igualado o excedido) es mucho mayor en la subserie 1972-2021.

Tabla 1. Tr. observados, Qmd máx. y mín. anuales.

Crecientes y Bajantes Caudal (m³/s)	T= 67 años (1905-1971)		T= 50 años (1972-2021)	
	N	Tr (años)	N	Tr (años)
Qmd máx. anual $\geq 30000$	0	-	3	16,7
Qmd máx. anual $\geq 27000$	2	33,5	4	12,5
Qmd máx. anual $\geq 25000$	2	33,5	10	5,0
Qmd mín. anual $\leq 10000$	53	1,3	3	16,7
Qmd mín. anual $\leq 8000$	36	1,9	1	50,0
Qmd mín. anual $\leq 6000$	1	67,0	0	-

En la Fig. 3 se presentan los Qmd; en primer lugar, se detecta un cambio en las recurrencias observadas ( $Tr=T/N$ ) de los Qmd mínimos y máximos anuales entre las subseries 1905-1971 y 1972-2021 (Tabla 1). Se observa que Tr es mucho menor en los Qmd mín. anuales en la subserie 1905-1971, lo cual indica que los caudales bajos (bajantes) fueron mucho más frecuentes antes del 1972, y viceversa para los caudales altos (crecientes).

Antes de 1972 no se registran Qmd máx. extremos  $\geq 30000$  m³/s, mientras que, después del 1972 se registran 3, en 1983 (30050 m³/s), 1992 (31400 m³/s) y 1998 (32000 m³/s), ver Fig. 4 izq., donde se representa también 1905. El Qmd mín. extremo más severo, antes de 1972 se produjo en 1944 (5700 m³/s) y, después del 1972, en 2021 (7230 m³/s), ver Fig. 4 der., donde se observa también 1917-18.

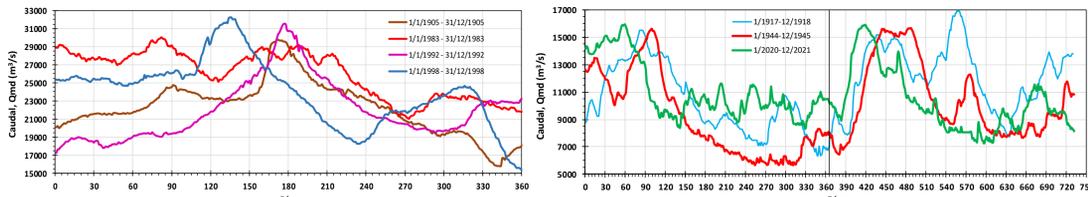


Fig. 4. Hidrogramas de algunos años “húmedos” con crecidas importantes (izq.) y “secos” con bajantes importantes (der.).

En la Fig. 6 se presentan los caudales medios mensuales, Qmm, calculados a partir de los Qmd, donde se observa claramente el cambio hacia una mayor magnitud de los caudales a partir del inicio de los '70.

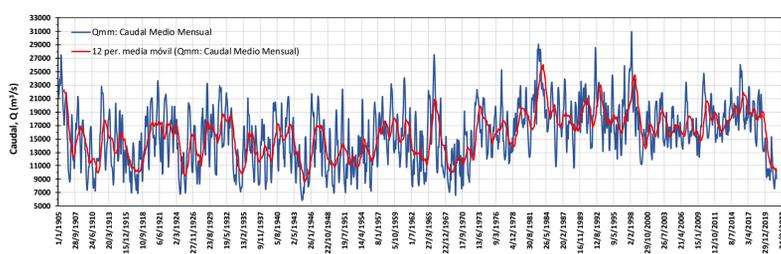


Fig. 6. Caudales medios mensuales, Qmm, en cauce principal. Sección Aforos Timbúes.

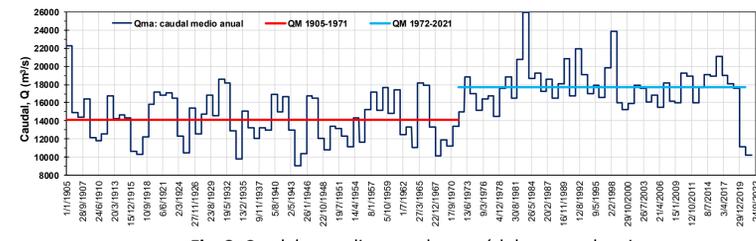


Fig. 8. Caudales medios anuales y módulos por subseries.

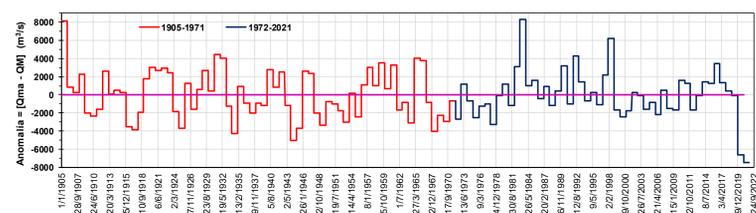


Fig. 9. Anomalías de Qma.

En la Fig. 7 se presentan los hidrogramas medios anuales para cada subserie, formados por los promedios de los caudales medios mensuales de cada subserie. Se observa que el hidrograma medio anual 1972-2021, es definitivamente mayor y muestra menor amplitud (diferencia entre el caudal máximo y mínimo) que el de 1905-1971.

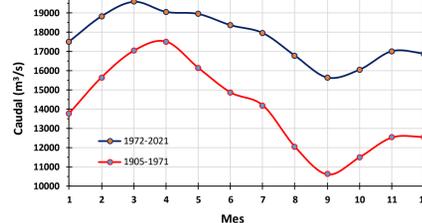


Fig. 7. Hidrograma medio anual por subseries.

Por otra parte, en términos medios, se observa que, en concordancia con la estacionalidad de las lluvias en la cuenca (estación lluviosa primavera-verano y lluvias escasas en otoño-invierno) y con los tiempos de respuesta de la cuenca; el caudal alcanza el valor máximo en marzo-abril, para luego ir disminuyendo en los meses subsiguientes hasta alcanzar el mínimo en septiembre.

En la Fig. 8 se presentan los caudales medios anuales Qma (promedios de los Qmm de cada año) y el caudal módulo QM (promedio de los Qma para una serie de años), correspondientes a cada subserie.  $QM=17680$  m³/s (1972-2021) y  $QM=14140$  m³/s (1905-1971), es decir, se observa un incremento de  $3540$  m³/s en el QM a partir del año 1972.

El Qma máximo (1972-2021) se observa en la creciente de 1983 ( $25950$  m³/s) y el mínimo en la bajante del 2021 ( $10247$  m³/s). El Qma máximo (1905-1971) se observa en la creciente de 1905 ( $22260$  m³/s) y el mínimo en la bajante de 1944 ( $9070$  m³/s). El Qma del año 2020 ( $11095$  m³/s) es comparable con los ocurridos en las bajantes de los años 1953 ( $11150$  m³/s), 1964 ( $11070$  m³/s) y 1970 ( $11208$  m³/s). El Qma del año 2021 es de  $10247$  m³/s, similar a los Qma de 1916 ( $10640$  m³/s), 1917 ( $10300$  m³/s), 1925 ( $10430$  m³/s), 1949 ( $10790$  m³/s). Los Qma multiplicados por  $t = 1$  año =  $31536000$  s, representan los volúmenes de escurrimientos anuales (flujo encauzado en sección Timbúes).

Las bajantes del 2020 y 2021, presentan anomalías negativas ( $AQ = Qma - QM_{72-21}$ ) de  $-6585$  m³/s y  $-7433$  m³/s respectivamente, es decir, las mayores anomalías negativas del río en toda la historia con registros aquí considerada (ver Fig. 9). Las mismas se asocian a volúmenes de escurrimiento en la cuenca, similares a los observados en las bajantes ocurridas antes del 1972 en años “secos”.

**CONCLUSIONES** El cambio en el régimen hidrológico del río desde 1972 se explica por diversos factores observados en la cuenca a partir de la década del '60, como los aumentos de: lluvias a escala regional, deforestación y cambio del uso del suelo; que contribuyeron a un mayor escurrimiento en la cuenca y son consistentes con el cambio observado. Además, las represas en la cuenca alta, solo regulan el caudal, aumentando principalmente los caudales mínimos en años de lluvias muy por debajo de las normales. Dado que algunos de los factores que contribuyeron a generar mayores volúmenes de escurrimiento en los últimos 50 años siguen actuando, la disminución observada de los mismos en los años 2020 y 2021, se relaciona sustancialmente a lluvias medias anuales muy por debajo de las consideradas normales antes de 1972 (y en el último período de 50 años), lo cual debe necesariamente activar una señal de alerta sobre la futura tendencia o evolución de los caudales del río.