

SALÓN INTERNACIONAL DEL AMBIENTE – SIAR 2022
13-14 de octubre de 2022 – Rosario

***Régimen Hidrológico del Río Paraná 1905-2022:
Causas y Consecuencias de sus Cambios***

Dr. Ing. Civil Pedro A. Basile

**Departamento de Hidráulica – Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario
Riobamba 245 bis, (2000) Rosario, Argentina
Tel.: ++54 +341 4808541. E-mail: pbasile@fceia.unr.edu.ar**

Introducción

El régimen hidrológico del río Paraná se caracteriza a partir de la variación del caudal a lo largo del año hidrológico, vinculada con:

- Factores físicos de la cuenca: área, topografía, complejo suelo-vegetación, usos del suelo, etc.
- Factores climáticos: donde la magnitud y distribución espacial y temporal de las lluvias juegan un rol fundamental.

Escala intra-anual: En un mismo año hidrológico se observan períodos de crecientes y bajantes.

Escala inter-anual: Entre un año y otro se observan años con lluvias anuales superiores a las medias anuales o normales (“años húmedos”, crecientes significativas) y, años con lluvias anuales inferiores a las normales (“años secos”, 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.

Cuenca del Río Paraná

Involucra 4 países: Brasil (S), Paraguay (Todo), Argentina (N-C) y Bolivia (S-E).



Area RP = 2 700 000 km²

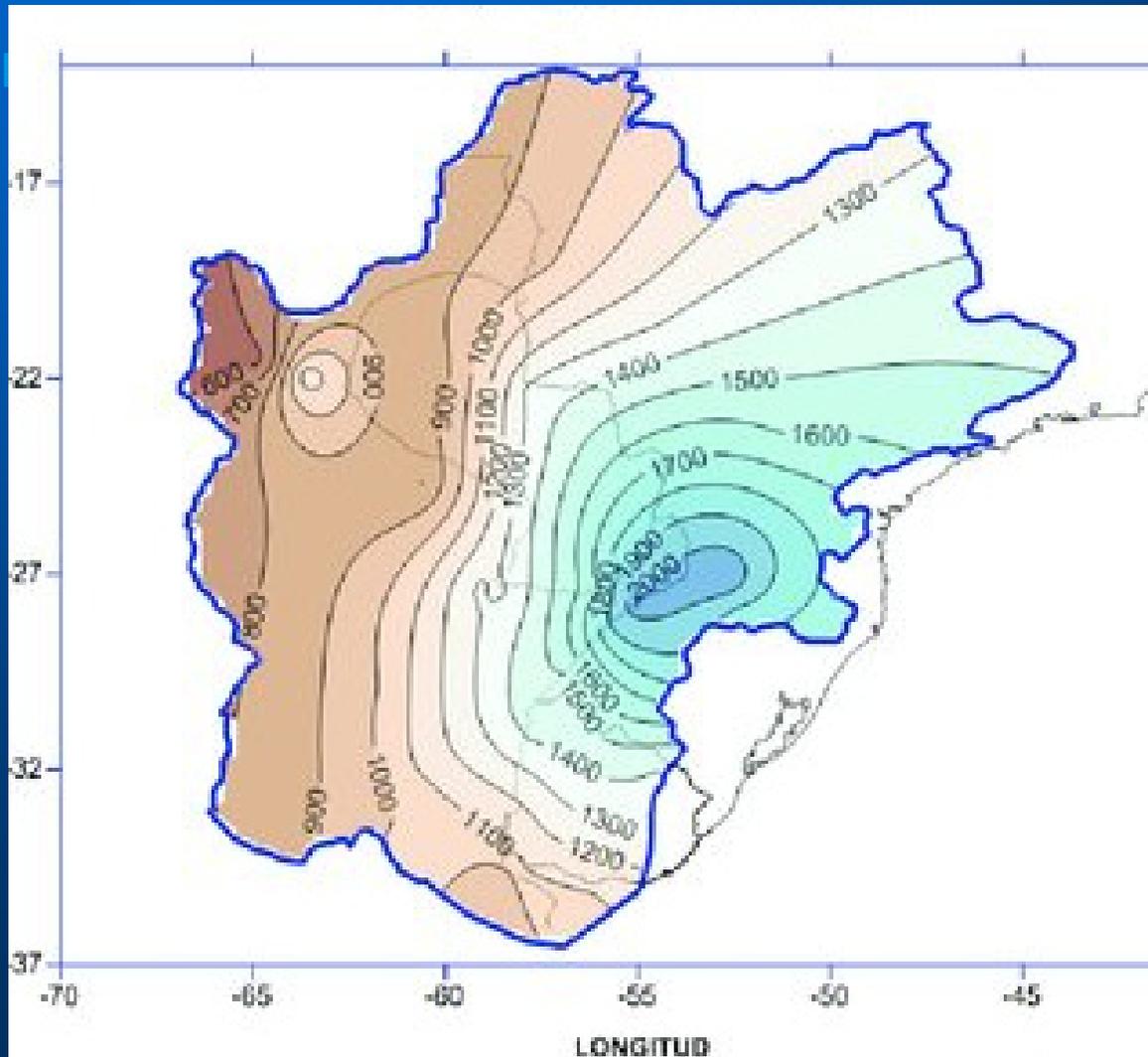
Longitud Río = 2 570 km

Pendiente hidráulica
4,7 cm/km (Corrientes)
2,8 cm/km (Rosario)
1,6 cm/km (San Pedro)

Area (Confluencia)
2 000 000 km²

Lluvias en la cuenca del Río Paraná_cont.

Isohietas (Lluvia media anual en mm) 1971 - 2015

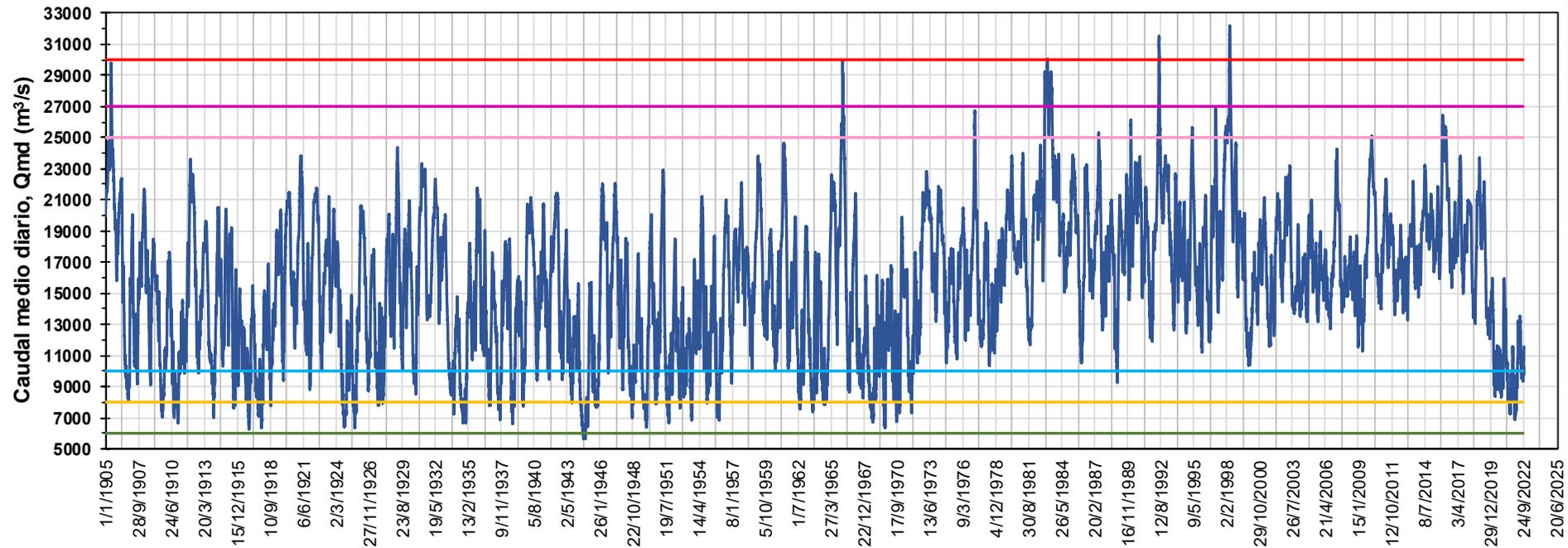


La magnitud de la lluvia media anual en la cuenca es variable y aumenta de Oeste a Este.

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).

Caudales medios diarios del Río Paraná: 1/1/1905 – 13/10/2022

Timbúes (km 456)



Recurrencias observadas: $R=T/N$

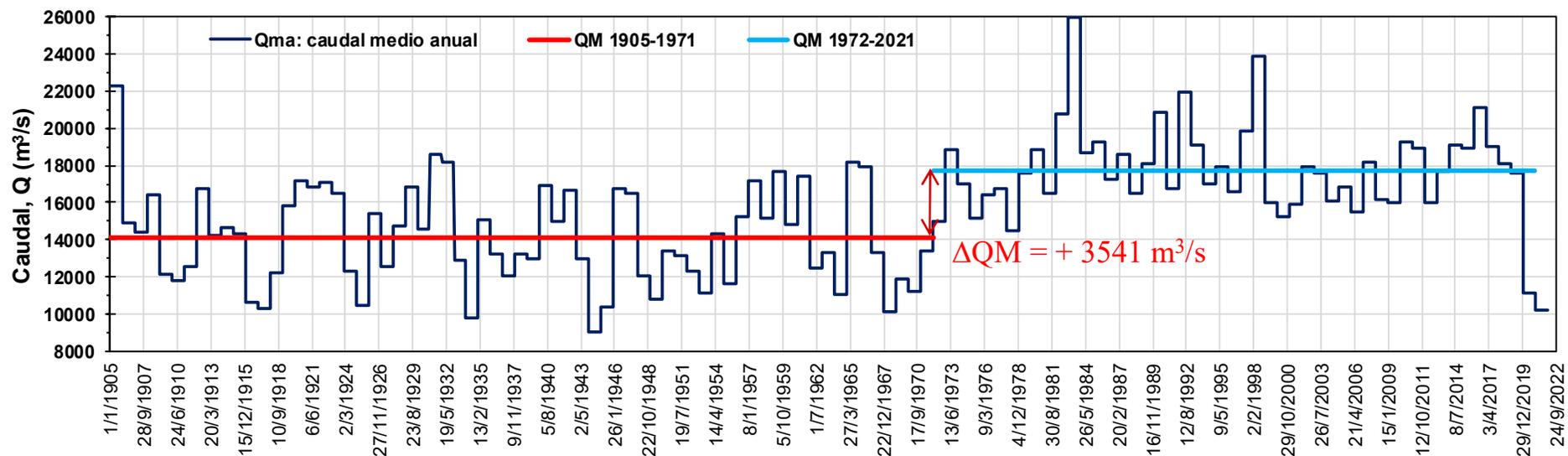
Qmd (m³/s)	T = 67 años (1905-1971)		T = 51 años (1972-2022)	
	N	R (años)	N	R (años)
Qmd máx. anual \geq 30000	0	-	3	17.0
Qmd máx. anual \geq 27000	2	33.5	4	12.8
Qmd máx. anual \geq 25000	2	33.5	10	5.1
Qmd mín. anual \leq 10000	53	1.3	4	12.8
Qmd mín. anual \leq 8000	36	1.9	2	25.5
Qmd mín. anual \leq 6000	1	67.0	0	-

1972-2022 respecto a 1905-1971:

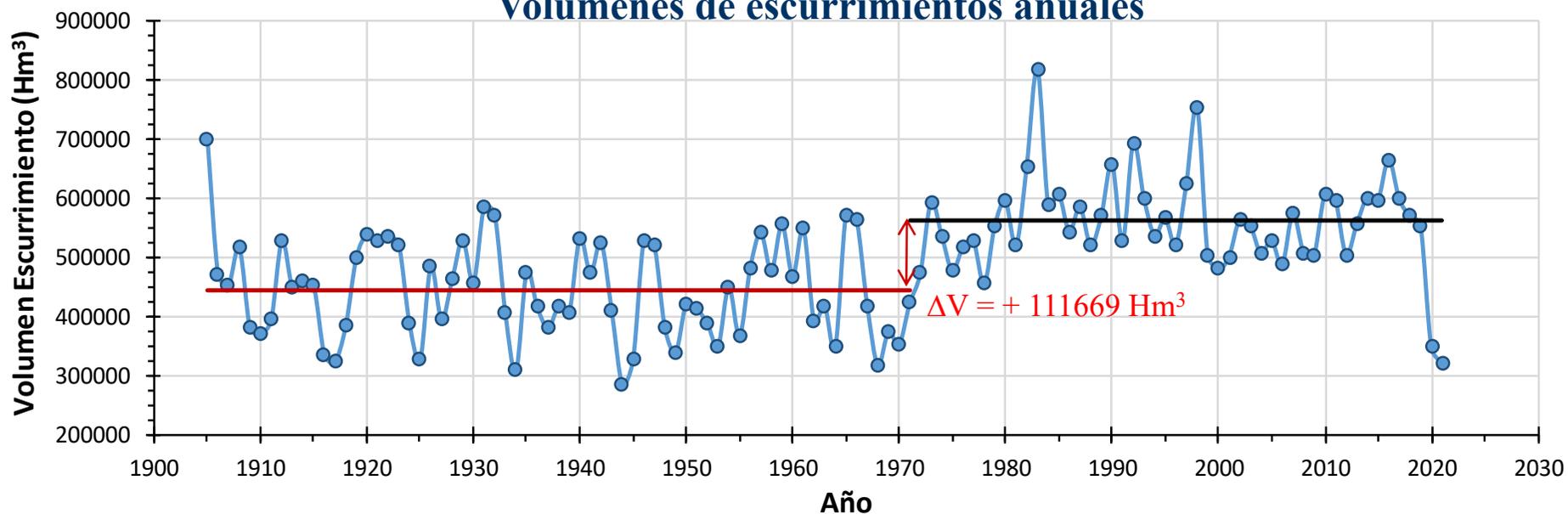
- Qmáx. Más Frecuentes (Menor R)
- Qmín. Menos Frecuentes (Mayor R)

Caudales medios anuales del Río Paraná

Timbúes (km 456) 1905 – 2021

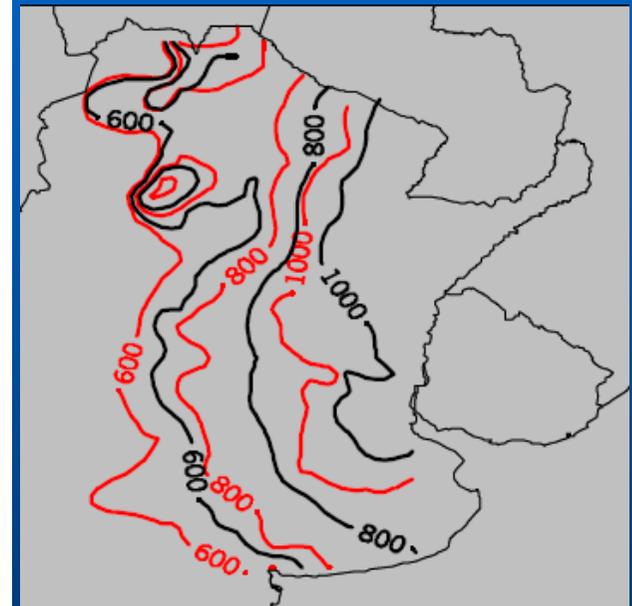
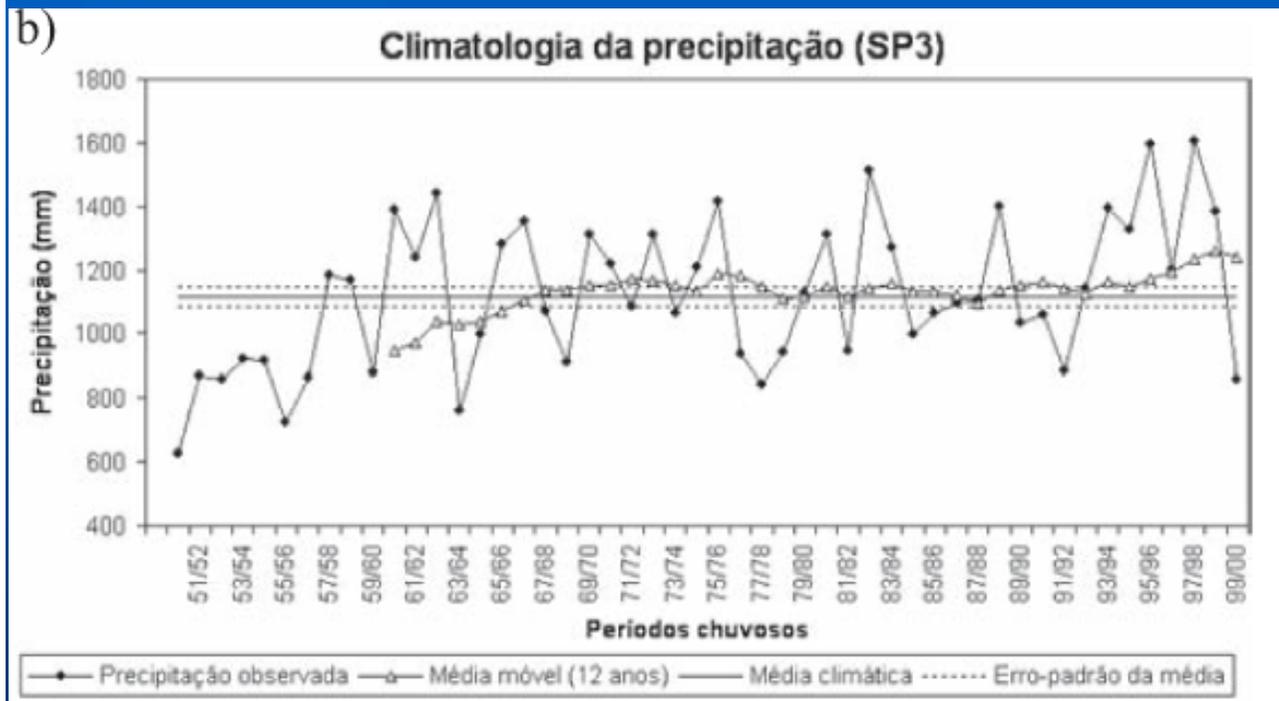


Volúmenes de escurrimientos anuales



Cambio en las lluvias a escala regional

Aumento de lluvias medias anuales (10-30%) en sub-cuencas de los ríos Paraguay y Alto Paraná a partir del 1970 (Anderson, 1993; Halcrow, 1994; García et al., 1996; Tucci, 1998)



Isohietas (Lluvia Media Anual)

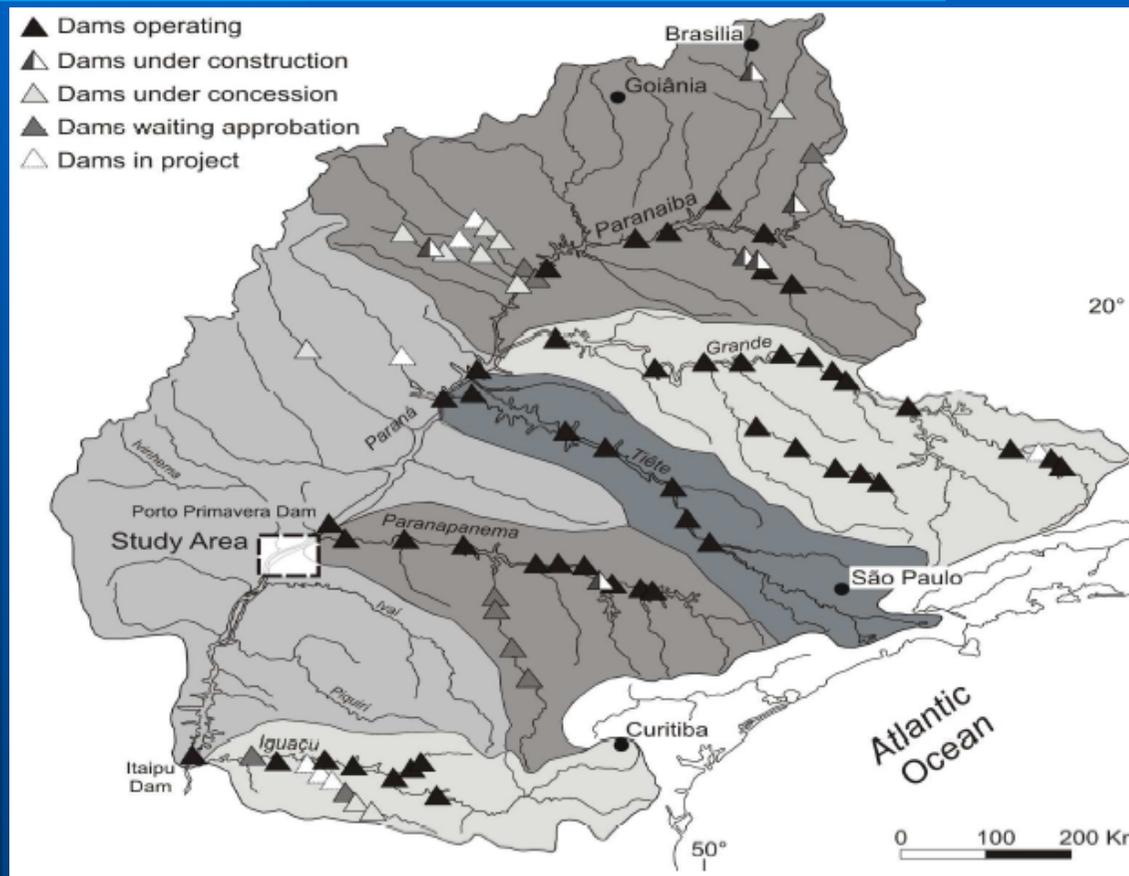
1950-1970 (Negro)

1981-2000 (Rojo)

Lluvia Anual (Sur Brasil) 1951 - 2000

Desarrollos hidroeléctricos a partir de los años '60

Durante períodos de años “secos”, las presas contribuyen (con un cierto margen de operación) a mitigar el impacto de las bajantes. Vol. máx.: 300000 Hm³.



Aprovechamientos Hidroeléctricos en la Cuenca del Alto Paraná en Brasil

No atenúan Q máximos: Embalses siempre llenos → Desalmacenamiento = Pérdida económica.

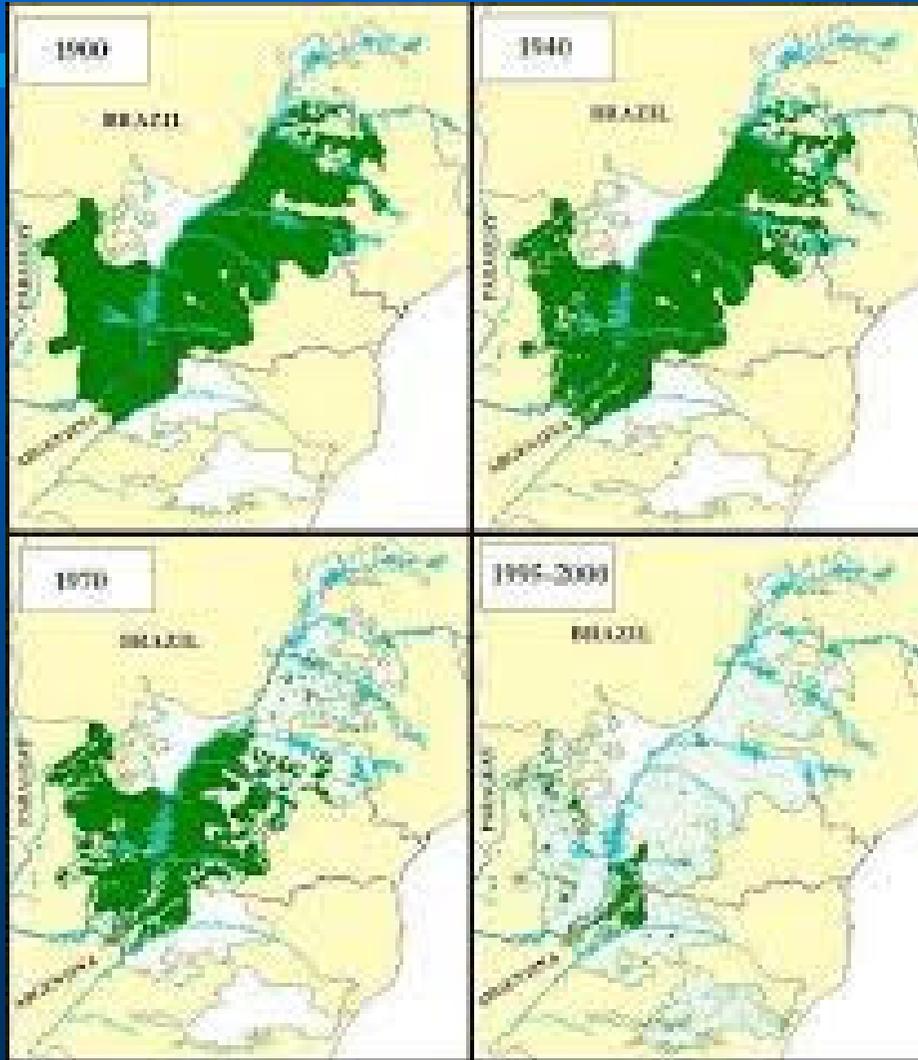
Aumentan Q mínimos: Turbinado continuo para abastecer demanda básica de energía.

En un balance integrado a escala anual: $Q_{in} \approx Q_{out}$.

No adicionan ni sustraen caudal, solo lo regulan.

Deforestación y cambio uso del suelo en sub-cuencas del Alto Paraná y del Paraguay

DEFORESTACIÓN: Pérdida del 92% del BAAP (sup. original 470000 km²). Acelerada a partir de 1968; en una zona sensible para la respuesta hidrológica de la cuenca.



CAMBIO USO DEL SUELO:
Bosque → Agricultura, Ganadería,
Minería, Asentamientos Urbanos
(25 millones de habitantes ocupan
actualmente el área del BAAP)

Deforestación: Eliminación de I.F.,
Disminución de EvapoTranspiración

Agric. Intensiva, etc. + Urbanización:
Impermeabilización suelos

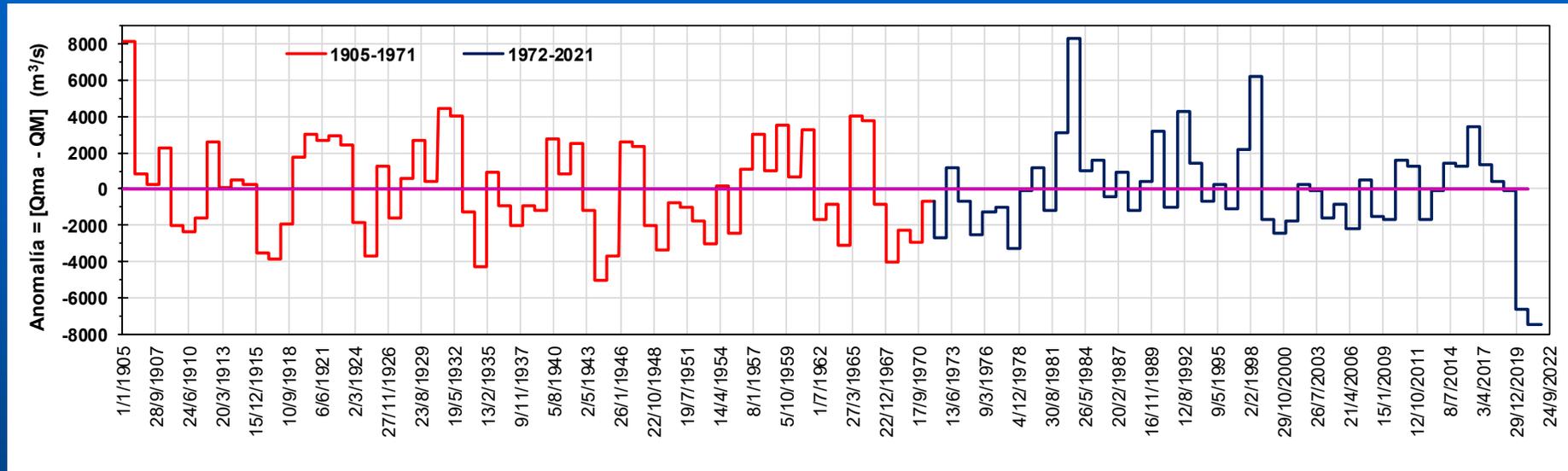


Mayor volumen de escurrimiento en
la cuenca → Incremento de Q en el
Río Paraná a partir de 1972

Consecuencias del incremento del escurrimiento a partir de 1972

- Inundaciones: El río experimentó una mayor frecuencia de crecidas que generaron problemas de anegamientos en áreas urbanas ribereñas.
- Morfodinámica del cauce:
El río se profundizó (aumentó el área de secciones transversales).
En las bifurcaciones del cauce cambió la jerarquía de los brazos (revitalizó el brazo secundario a expensas de la atrofia del brazo principal).
- Dinámica del valle aluvial: Mayor derivación de caudales hacia el valle aluvial (humedal), fundamental para la sustentabilidad de sus ecosistemas fluviales.
- Navegación fluvial: Incremento en magnitud y permanencia de niveles hidrométricos, escenario beneficioso para el transporte fluvial.

Anomalías de Caudales Medios Anuales 1905 – 2021



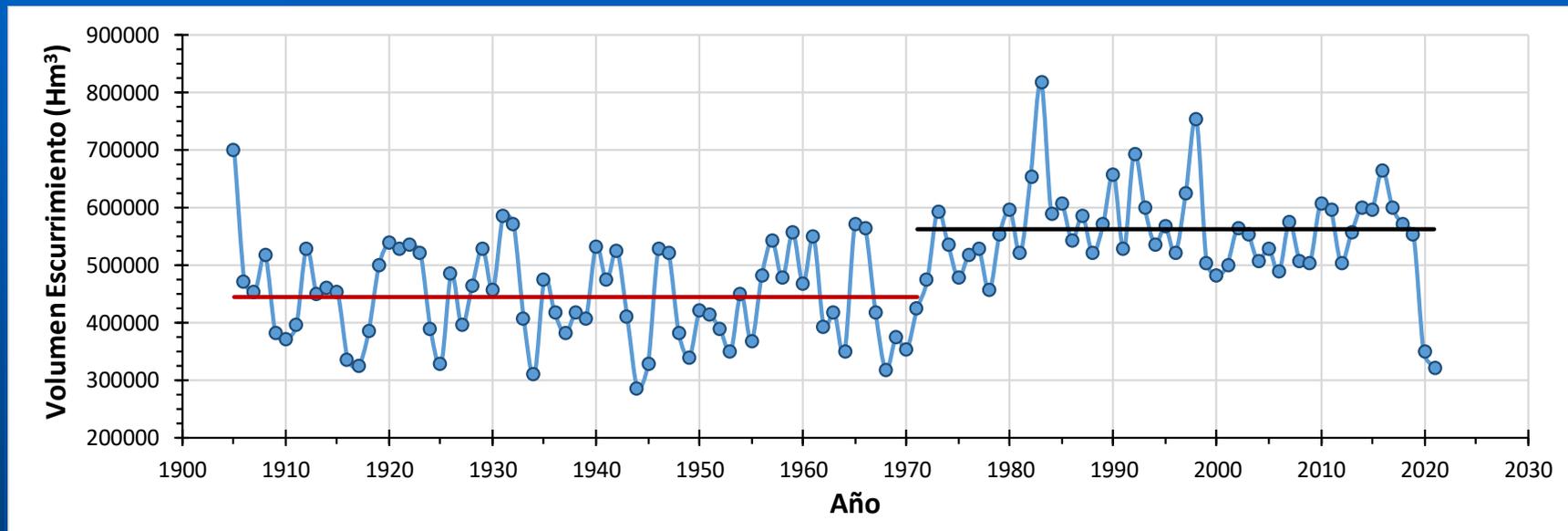
2020: $AQ_{ma} = - 6600 \text{ m}^3/\text{s}$ ($AV \approx - 208000 \text{ Hm}^3$)

2021: $AQ_{ma} = - 7450 \text{ m}^3/\text{s}$ ($AV \approx - 235000 \text{ Hm}^3$)

Son la mayores anomalías negativas del río en toda la historia con registros!!!

Anomalías de Caudales Medios Anuales 1905 – 2021_cont.

Volúmenes de escurrimientos anuales



Las anomalías negativas de Q_{ma} en 2020 y 2021 se asocian a volúmenes de escurrimiento en la cuenca similares a los observados antes del 1972 en años “secos”!!

Bajantes de 2020, 2021 (y 2022 en curso)

Las causas que contribuyeron a generar mayores volúmenes de escurrimiento en los últimos 50 años siguen actuando (deforestación BAAP, cambio uso del suelo, etc.).

La drástica disminución observada de los volúmenes de escurrimiento en 2020, 2021 (y 2022 en curso), se relaciona a lluvias anuales muy por debajo de las consideradas normales antes de 1972 y en el último período:

INMET – Brasil / Cuenca Alto Paraná

Año	P (mm)	AP (mm)
2020	1150	-350
2021	1100	-400
2022	1070	-430
1983*	2000	500

$$AP = P - P_{\text{módulo}}$$

$$P_{\text{módulo}} = 1500 \text{ mm}$$

Esto debe necesariamente activar una “señal de alerta” sobre la futura evolución de los caudales del río.

Consecuencias de un nuevo cambio del régimen hidrológico hacia caudales más bajos

Inundaciones: Atenuación del impacto de anegamientos en áreas urbanas ribereñas.

Morfología del cauce: Menor intensidad de procesos morfodinámicos.

Dinámica del valle aluvial: Disminución de derivación de caudales hacia el valle aluvial (humedal).

i) Fragmentación (desconexión entre cuerpos de agua), ii) Pérdida de hábitats (reducción de cuerpos de agua), iii) Incremento de toxinas (sobrepoblación de habitas reducidos), iv) Pérdida de flora hidrófita, v) Apropiación y utilización del humedal para otros “usos del suelo”.

Navegación fluvial: Disminución de niveles hidrométricos en magnitud y mayor permanencia de aguas bajas. Niveles descienden por debajo de los valores de referencia considerados para mantener el calado de diseño. Carga parcial de buques, falso flete. El impacto es mucho mayor en la actualidad que en el pasado (antes del 1972).

Abastecimiento de agua: Descenso de niveles hidrométricos y consecuentes problemas por posición altimétrica de obras de toma (no es un problema de cantidad, con solo 5 m³/s se pueden abastecer 1.700.000 habitantes). Calidad: mayor concentración de sedimentos en suspensión (carga foránea) y sustancias contaminantes.

Conclusiones

- Cambios en el uso del suelo en cuencas del Alto Paraná y Paraguay (deforestación del BAAP => agricultura intensiva, ganadería, minería, desarrollos urbanos) intensificados desde 1968.
- Desarrollos hidroeléctricos en el Alto Paraná comenzando en los '60.
- Aumento de lluvias a escala regional en el Alto Paraná y Paraguay a partir del 1960-1970.
- Tales factores provocaron un cambio del régimen hidrológico del Río Paraná hacia mayores volúmenes de escurrimiento a partir de inicios de los '70, registrándose aumentos en caudales (y niveles asociados) y una mayor frecuencia de crecidas.
- El aumento de caudales contribuyó a agravar el problema de inundaciones en áreas urbanas ribereñas y propició una mayor intensidad de procesos morfodinámicos del Río Paraná. Asimismo, generó impactos positivos para la dinámica de ecosistemas del valle aluvial y para la navegación fluvial.
- Las bajantes 2020, 2021 (y 2022 en desarrollo) presentan las mayores anomalías negativas de caudales medios anuales en toda la historia del río. Los volúmenes de escurrimiento en la cuenca son similares a los observados antes de los '70 en años “secos”.

Estamos ante la presencia de un cambio del régimen hidrológico del río hacia un nuevo período sostenido de volúmenes de escurrimiento similares a los observados antes de 1972?

A wide river flows through a lush green landscape under a clear blue sky. The river is dark blue and occupies the foreground. The middle ground is filled with dense green vegetation and a winding path of water. The background shows a flat horizon line with a few small buildings visible in the distance.

Gracias por su atención!!