

## **INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA**

Subgerencia del Centro de la Región Semiárida

### **Informe expeditivo:**

### **ANÁLISIS DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS A PARTIR DE DATOS DE CAUDALES HISTÓRICOS EN SECCIONES FLUVIALES DEL RÍO PARANÁ Y URUGUAY**

**Resultados preliminares**

Marzo de 2023

**Dra. Ing. LETICIA VICARIO**

#### **CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN
2. DESARROLLO
3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO
  - 3.1 Estaciones seleccionadas
  - 3.2 Índice hidrológico
  - 3.3 Otros procedimientos metodológicos
  - 3.4 Resultados
  - 3.5 Comparación con indicadores macroclimáticos
4. CONSIDERACIONES FINALES
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## **1. INTRODUCCIÓN**

La escasez de precipitaciones en un área y en un período de tiempo determinado genera un déficit hidrológico denominado “sequía”. Esta adversidad climática tiene importantes efectos negativos en los aspectos socio-económicos de una región (Vicario, et al.; 2014). Las sequías se clasifican según el objetivo de estudio y la variable hidroclimática utilizada. La sequía hidrológica superficial se determina a partir de una reducción en las escorrentías en cursos fluviales, en los niveles de lagos y embalses, etc. Teniendo un impacto dañino en la comunidad y ambiente donde se da su ocurrencia. De tal manera que cualquier gestión que se realice para evaluar estos eventos hidrológicos extremos es de gran importancia en el territorio nacional.

A partir de esto, se consideró necesario analizar los eventos de déficit hídrico históricos debido a la bajante que se ha observado en los últimos años, particularmente en los ríos Paraná y Uruguay, a través de la evaluación temporal de eventos hidrológicos en secciones seleccionadas bajo un criterio de calidad y cantidad de datos observados.

En resumen, en este informe se presenta un análisis cuantitativo a partir de datos de caudales históricos en secciones fluviales del río Paraná y Uruguay; a partir de los cuales se pudieron observar algunos resultados de interés.

## **2. DESARROLLO**

Se inició la investigación y recopilación de la información pertinente para desarrollar el análisis de ciclos secos y húmedos, con la premisa de que la información y antecedentes surgieran de sitios oficiales. Se llevaron a cabo las siguientes tareas:

- Localización de estaciones con datos de longitud y calidad aceptable obtenidos del Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH) perteneciente a la Secretaría de Infraestructura de Políticas Hídricas (SlyPH)
- Descarga de series de Caudales medios. Preprocesamiento – Procesamiento
- Aplicación de índice hidrológico pertinente SDI (por sus siglas en inglés: Streamflow Drought Index)
- Descarga de series de Caudales Mínimos. Preprocesamiento – Procesamiento
- Análisis de Resultados

- Descarga de series y gráficos de fenómenos macroclimáticos
  - ENSO (Niño-Niña) 1850-2022
  - Manchas Solares 1700-2022
- Análisis de Resultados

### 3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

#### 3.1. Estaciones seleccionadas

A los fines de desarrollar el presente trabajo, se utilizaron las series de caudales medios mensuales que, luego de un análisis de todas las estaciones en la cuenca de interés, se obtuvieron de tres secciones con registros de una longitud temporal y calidad aceptable en el río Paraná y de una sección en el río Uruguay. Estas series fueron procesadas y reordenadas en año hidrológico para conformar los datos de ingreso (Input) a la metodología utilizada. Dichas estaciones se detallan en la Tabla 1 y se visibilizan en la Figura 1.

Tabla 1.- Identificación de estaciones seleccionadas

Subcuenca	Nombre	Código	Ubicación (LS - LO)	Periodo
río Paraná	Itatí	3862	27°15'58,50'' - 58°14'39,50''	1910-2022
	Corrientes	3805	27°27'35,00'' - 58°50'00,00''	1904-2022
	Timbúes	3316	32°39'30,00'' - 60°43'50,00''	1905-2021
río Uruguay	Paso de los Libres	3802	29°43'09,70'' - 57°05'02,40''	1908-2021

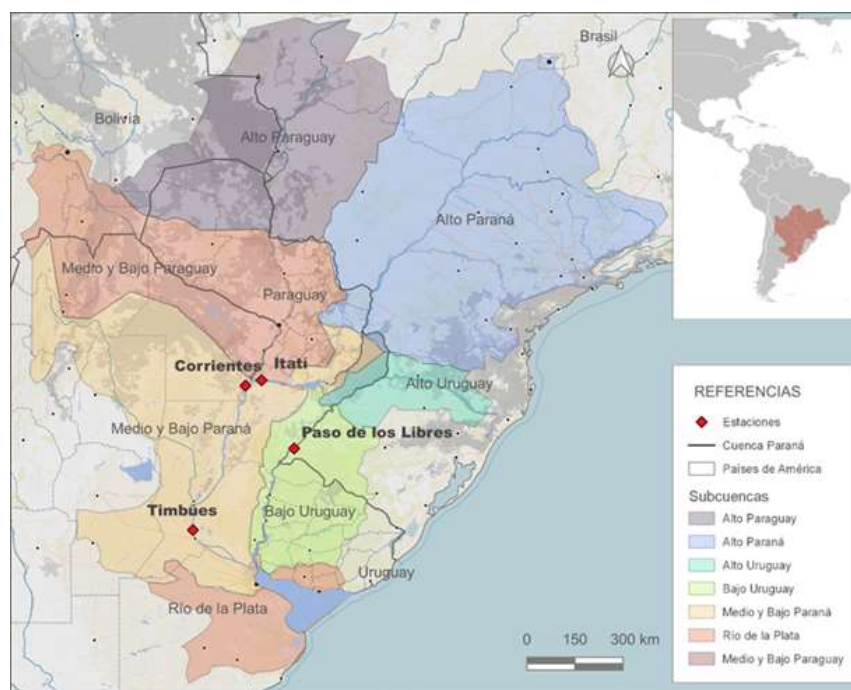


Figura 1.- Cuenca del Plata. Subcuencas. Estaciones seleccionadas: marca roja

### 3.2. Índice hidrológico

Una de las metodologías utilizadas en la actualidad para analizar sequías hidrológicas es el índice de sequía hidrológico SDI (por sus siglas en inglés: Streamflow Drought Index). El objetivo de este informe es evaluar éste índice en las secciones de interés con la finalidad de observar las características y evolución de los ciclos secos en los años con registros históricos de caudales medios mensuales.

La aplicación del SDI es una herramienta que permite realizar de forma sencilla la determinación y clasificación de las sequías que pueden ocurrir en una cuenca. Sin embargo, su cálculo requiere datos de caudal de alta calidad y de longitud suficiente para estimar con precisión la frecuencia de los eventos de sequía (Wagner Gómez; et al., 2012)

Este índice de sequía se basa en los valores de caudales, volúmenes o escurrimientos acumulados durante períodos denominados k1, k2, k3 y k4 (Nalbantis, 2008). Estos intervalos de tiempo comienzan el primer mes del año hidrológico considerado y se extienden hasta el tercer mes (k1), hasta el sexto mes (k2), hasta el noveno mes (k3) y hasta finalizar el año de doce meses (k4). Dichos intervalos permiten analizar, en caso de que se detecten eventos de sequías, la evolución de los mismos dentro de cada año considerado.

La expresión que describe dicho índice es:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - V_k}{S_k}$$

Donde SDI<sub>i,k</sub> el índice de sequía de caudales para el año hidrológico i y el intervalo considerado k. V<sub>k</sub> y s<sub>k</sub> son, respectivamente, el valor promedio y desvío estándar de todos los valores de V, para el intervalo k considerado, a lo largo de la serie de datos. Los rangos de valores del índice SDI para calificar el nivel de las sequías hidrológicas se muestran en la Tabla 2. El presente trabajo se focaliza en la ocurrencia de sequías intensas (Severas y extremas) a partir del valor (-1,5) del índice.

Tabla 2.- Valores del índice SDI según los distintos estados de sequía hidrológica.

Descripción	Criterio
Sin sequía	SDI>0
Sequía suave	-1<=SDI<0
Sequía moderada	-1,5<=SDI<-1
Sequía severa	-2<=SDI<-1,5
Sequía extrema	SDI<-2

### 3.3. Otros procedimientos metodológicos

Posteriormente se obtuvieron para las mismas estaciones, los registros de caudales mínimos anuales para un posterior análisis comparativo.

Los resultados obtenidos son complementados y comparados con registros de indicadores macroclimáticos como el fenómeno ENOS - ONI y Manchas solares.

Los resultados preliminares se pueden observar en el próximo apartado.

### 3.4. Resultados

En los gráficos siguientes se observan los valores de los índices SDI mensuales en las cuatro estaciones y la media móvil de 12 meses. Se destaca en cada figura la línea del índice con valor (-1,5) para facilitar la identificación de valores severos y extremos de sequía hidrológica.

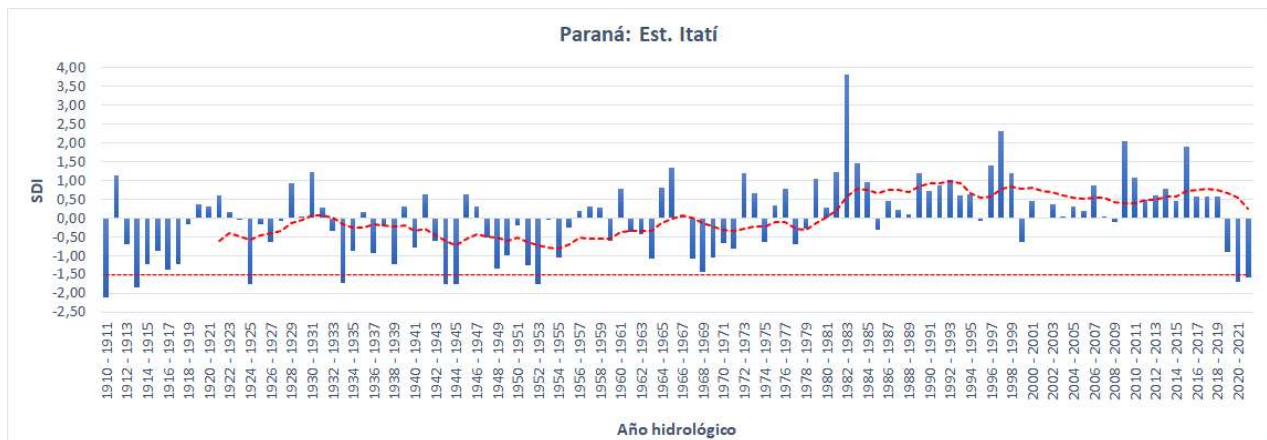


Figura 2.- Índice SDI de la estación Itatí en el río Paraná y su media móvil (12 meses). Se destaca valor de índice de sequías intensas.

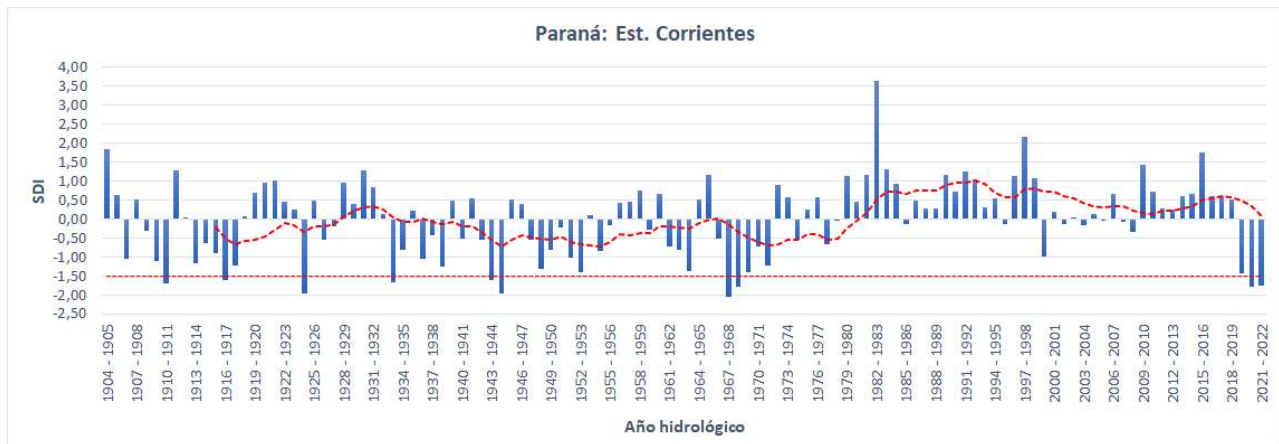


Figura 3.- Índice SDI de la estación Corrientes en el río Paraná y su media móvil (12 meses). Se destaca valor de índice de sequías intensas.

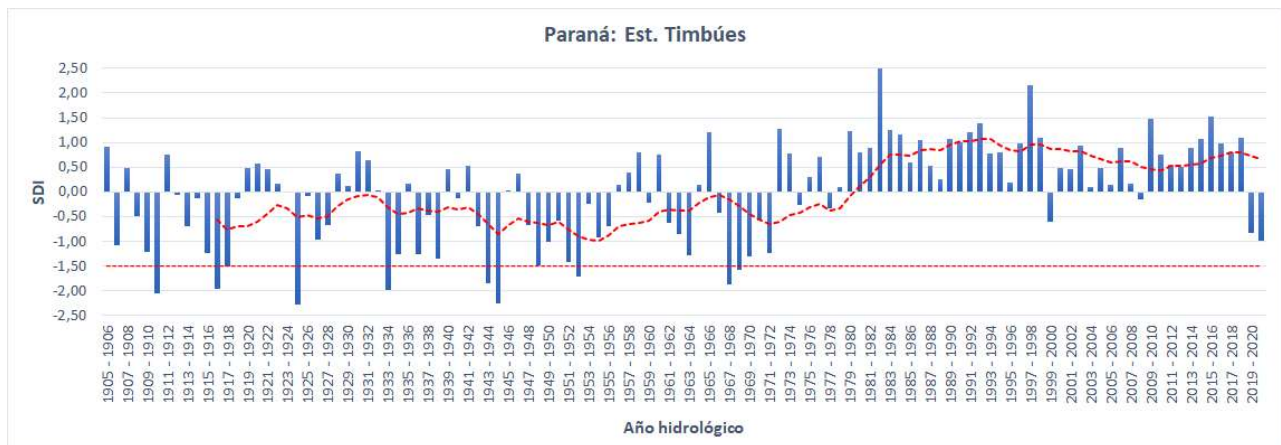


Figura 4.- Índice SDI de la estación Timbúes en el río Paraná y su media móvil (12 meses). Se destaca valor de índice de sequías intensas

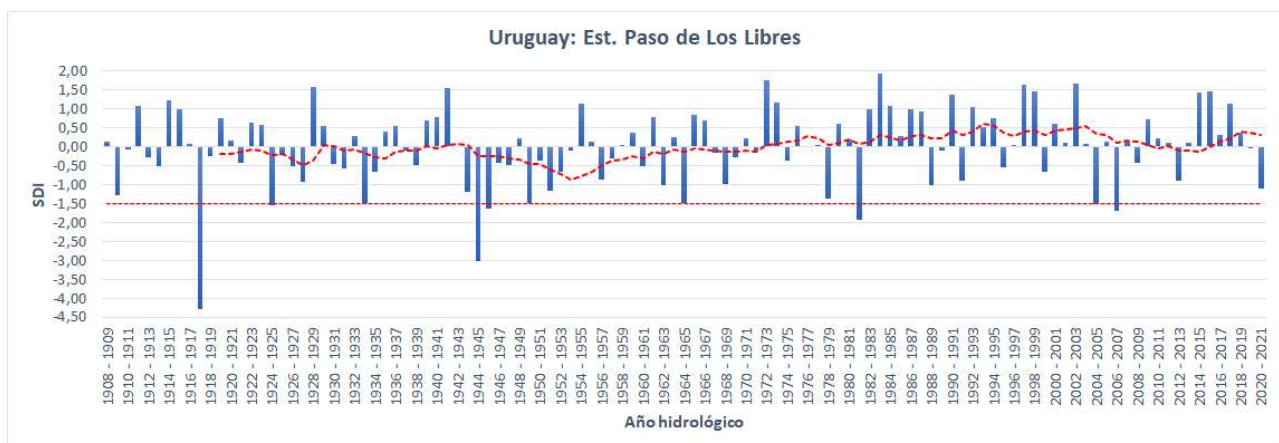


Figura 5.- Índice SDI de la estación Paso de Los Libres en el río Uruguay y su media móvil (12 meses). Se destaca valor de índice de sequías intensas



A partir de esta información es posible identificar los años en los que ocurrieron sequías severas y/o extremas (Tabla 3)

En ninguna estación analizada (con la información obtenida) en el periodo 2020-2022 se dieron los valores mínimos registrados del índice SDI a lo largo de la serie.

En general, en las 4 estaciones se observan eventos cada década desde 1910 hasta 1960. Luego recién en los años 2020-2021.

Se podría estimar que durante 5 décadas no ocurrieron sequías extremas o severas, aunque cabe destacar que alrededor de la década de '70 se inician obras de intervención y regulación del río en distintos sitios de la cuenca, lo que puede tener influencia directa en la evolución de los caudales y por ende en el desarrollo de los ciclos secos y húmedos descriptos a través del índice.

Tabla 3.- Años con sequías severas y/o extremas en las estaciones seleccionadas.

Sequías severas a extremas							
Paraná: Est. Itatí		Paraná: Est. Corrientes		Paraná: Est. Timbúes		Uruguay: Paso de Los Libres	
Año hidrol	SDI	Año hidrol	SDI	Año hidrol	SDI	Año hidrol	SDI
1910 - 1911	-2,11450458	1910 - 1911	-1,6947602	1910 - 1911	-2,05329657	1917 - 1918	-4,28559971
1913 - 1914	-1,84456956	1916 - 1917	-1,61384356	1916 - 1917	-1,97362792	1924 - 1925	-1,54200888
1924 - 1925	-1,74839759	1924 - 1925	-1,95739341	1917 - 1918	-1,52453065	1944 - 1945	-3,00728416
1933 - 1934	-1,72544122	1933 - 1934	-1,67425323	1924 - 1925	-2,2850914	1945 - 1946	-1,62563157
1943 - 1944	-1,75601983	1943 - 1944	-1,61944258	1933 - 1934	-1,98262358	1949 - 1950	-1,49965537
1944 - 1945	-1,74810147	1944 - 1945	-1,97326303	1943 - 1944	-1,86385703	1981 - 1982	-1,9287461
1952 - 1953	-1,75034773	1967 - 1968	-2,04916644	1944 - 1945	-2,26979876	2004 - 2005	-1,5246681
2020 - 2021	-1,68955708	1968 - 1969	-1,78345585	1952 - 1953	-1,72262013	2006 - 2007	-1,69268095
2021 - 2022	-1,58602583	2020 - 2021	-1,7899096	1967 - 1968	-1,88973141		
		2021 - 2022	-1,75165248	1968 - 1969	-1,57409203		

Luego, se analizan los registros de valores mínimos anuales en cada una de las estaciones (Figuras 6 a 9). También se observa este cambio o incremento en el valor promedio de las series, a partir de la década del '70, lo cual se destaca en los gráficos con líneas de distintos colores.

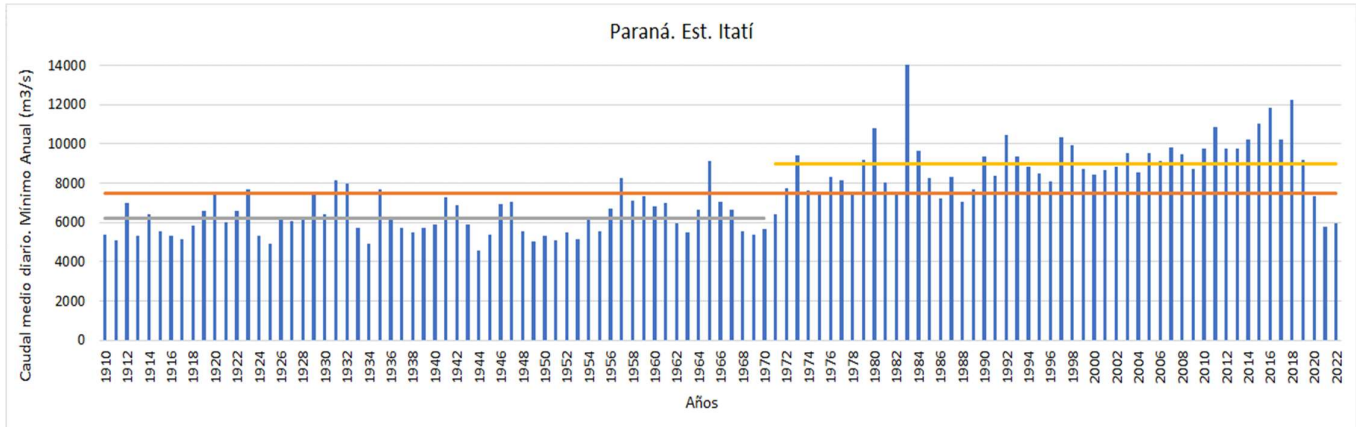


Figura 6.- Caudales mínimos anuales en la estación Itatí en el río Paraná.  
(Líneas color: naranja: Media de la serie completa, gris: Media de la serie 1910-1970, amarilla: Media de la serie 1971-2022)

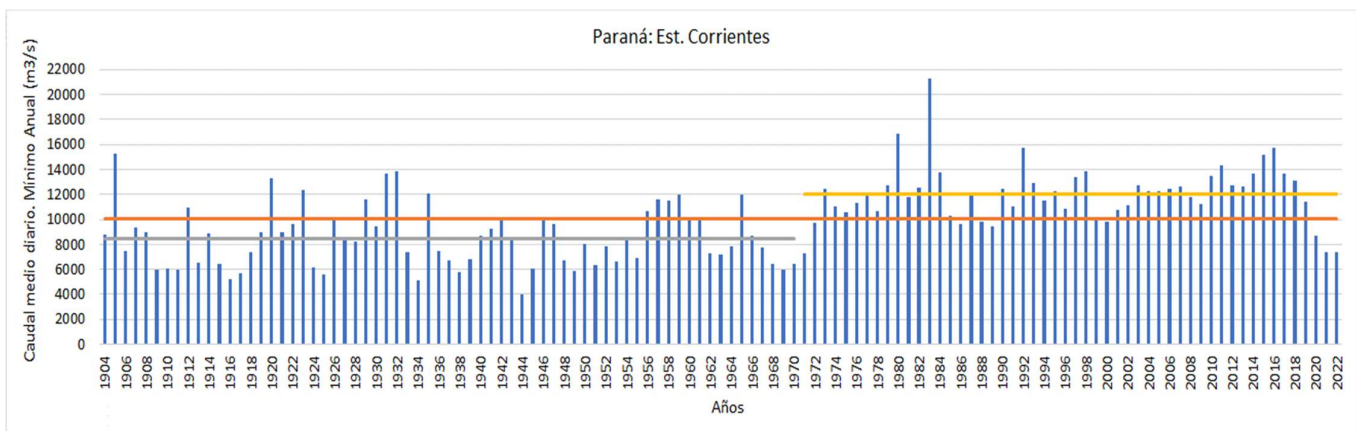


Figura 7.- Caudales mínimos anuales en la estación Corrientes en el río Paraná.  
(Líneas color: naranja: Media de la serie completa, gris: Media de la serie 1904-1970, amarilla: Media de la serie 1971-2022)

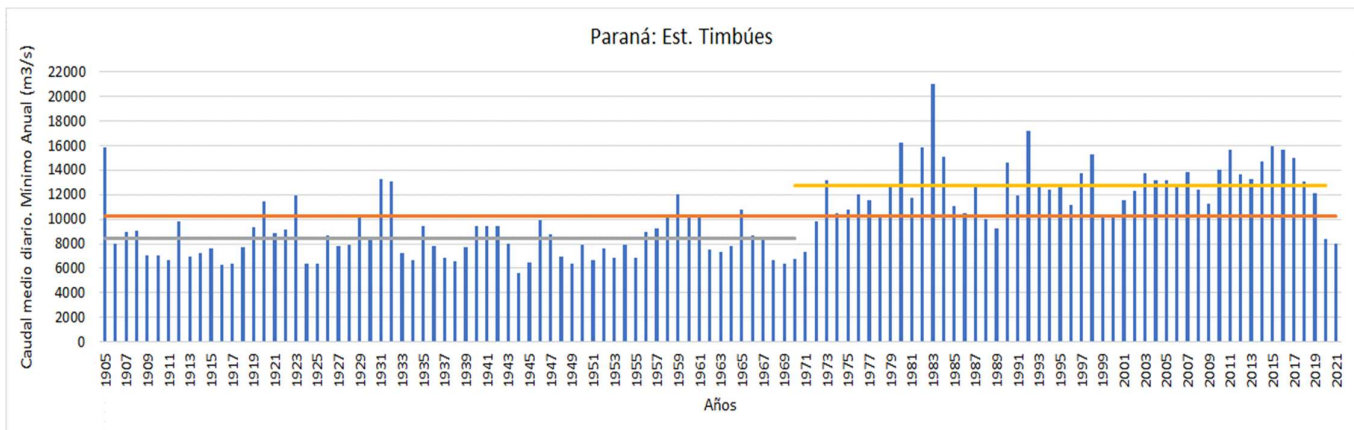


Figura 8.- Caudales mínimos anuales en la estación Timbúes en el río Paraná.  
(Líneas color: naranja: Media de la serie completa, gris: Media de la serie 1905-1970, amarilla: Media de la serie 1971-2021)



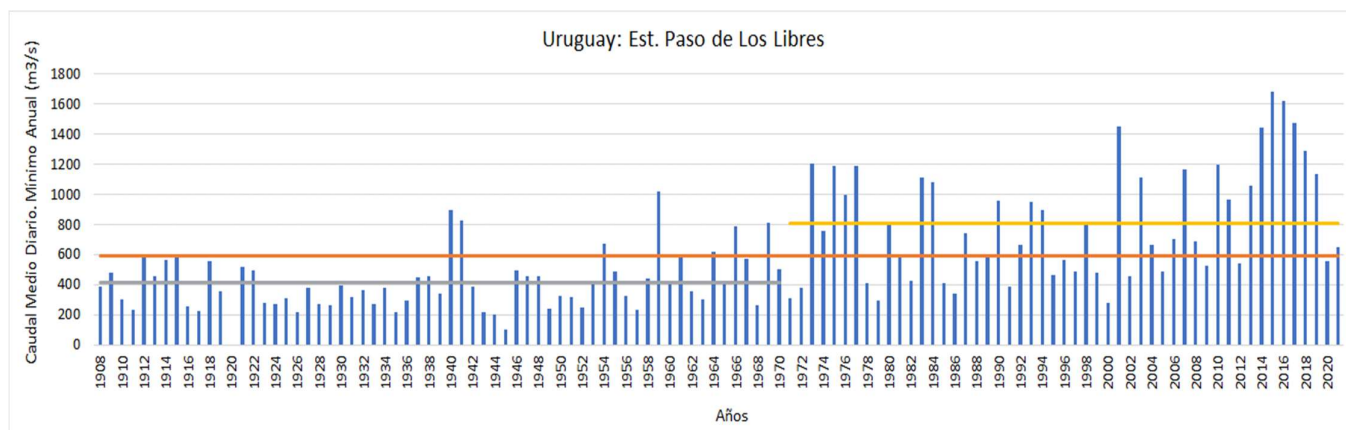


Figura 9.- Caudales mínimos anuales en la estación Paso de Los Libres en el río Uruguay. (Líneas color: naranja: Media de la serie completa, gris: Media de la serie 1908-1970, amarilla: Media de la serie 1971-2020)

Se observa también, que en las estaciones del río Paraná los valores mínimos a partir del año 2019, aproximadamente están por debajo de las tres medias de referencia; mientras que el en río Uruguay rondan el promedio de la serie completa.

### 3.5. Comparación con indicadores macroclimáticos

Otro análisis realizado fue la comparación con fenómenos macroclimáticos ya que el trabajo de Vicario; *et al.* (2019) mostraba cierta correlación de los caudales en un afluente al río Paraná, con algunos indicadores analizados.

En primera instancia se obtuvo la serie del conjunto de indicadores del fenómeno ENSO-ONI (por sus siglas en inglés: El Niño Southern Oscillation – Oceanic Niño Index) para el periodo 1850-2022 (Webb; *et al.* 2021-2022) y se superpusieron los años cuyo índice SDI indicaba sequía severa o extrema en la región analizada a través de las 4 estaciones.

El periodo promedio de ocurrencia de este fenómeno es de 2,5 años aproximadamente. No se observó una influencia directa del fenómeno sobre la ocurrencia de sequías hidrológicas severas o extremas. Han sucedido eventos Niña intensos (relacionados, en general a periodos de sequías) y en este caso no presentaron un efecto de déficit en las series evaluadas, sin embargo a partir del año 2020 se observa que un marcado fenómeno Niña coincidente con el periodo intenso de sequía en la región (Figura 10).

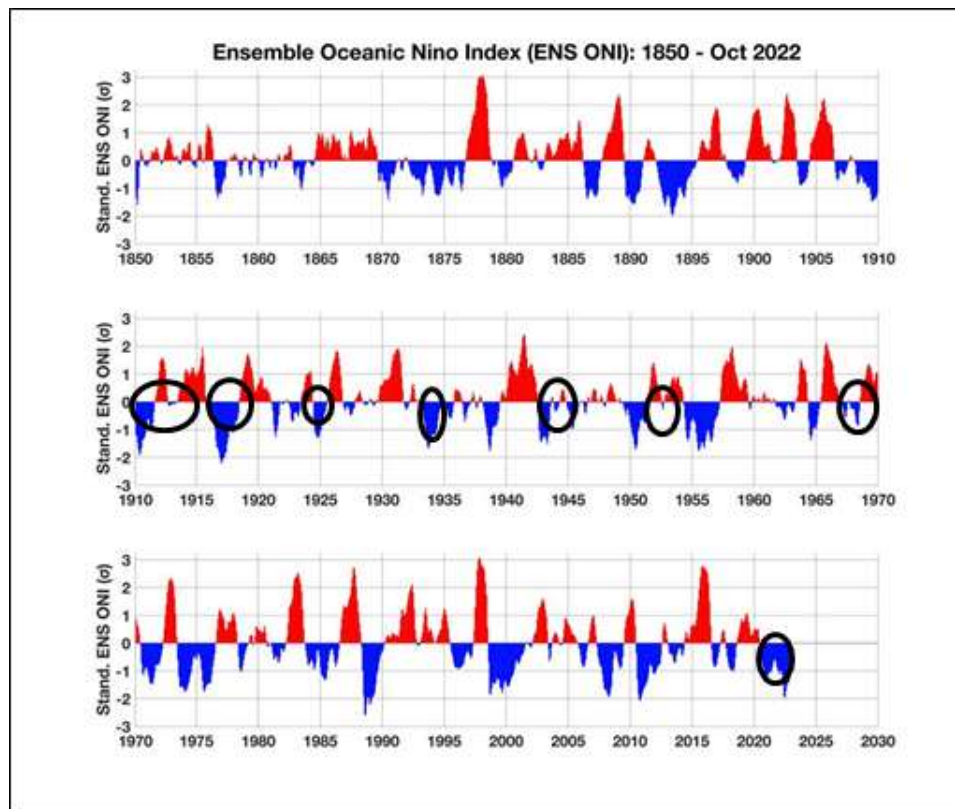


Figura 10.- Índice conjunto ENSO-ONI (1850-2022). Marcas color negro: periodos de sequías intensas según índice SDI, en la región.

De la misma manera se analizó la información a cerca de las Manchas Solares para el periodo 1700-2022 (Royal Observatory Belgium, 2023) y como en el caso anterior, se superpusieron los años cuyo índice SDI indicaba sequía severa o extrema en la región analizada a través de las 4 estaciones.

Se observó que en promedio el periodo de ocurrencia de este fenómeno es de cada 11 años aproximadamente. Si bien no se determinó una correlación anual aceptable con el SDI Paraná, se puede observar cierta similitud entre la ocurrencia valores bajos del indicador de Manchas solares con la ocurrencia de sequías intensas en el río Paraná. El comportamiento del caudal en el río Uruguay sería menos compatible con el número de manchas solares.

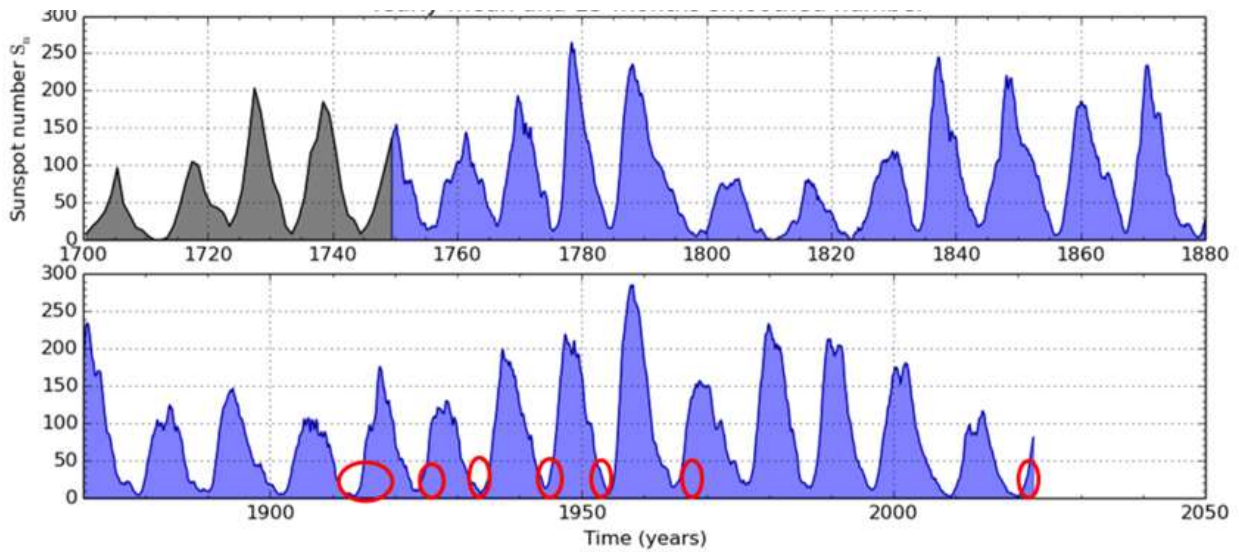


Figura 10.- Número de Manchas Solares. Promedio anual y su media movil. Marcas color rojo: periodos de sequías intensas según índice SDI, en la región.

De la misma fuente del gráfico anterior se obtuvo el pronóstico del indicador de Manchas solares para los próximos meses (Figura 11). Se observa una tendencia positiva de las mismas por lo que sería esperable que las sequías tiendan a ser moderadas a leves o bien, se presenten ciclos normales a húmedos en la región de estudio, hacia el año 2024.

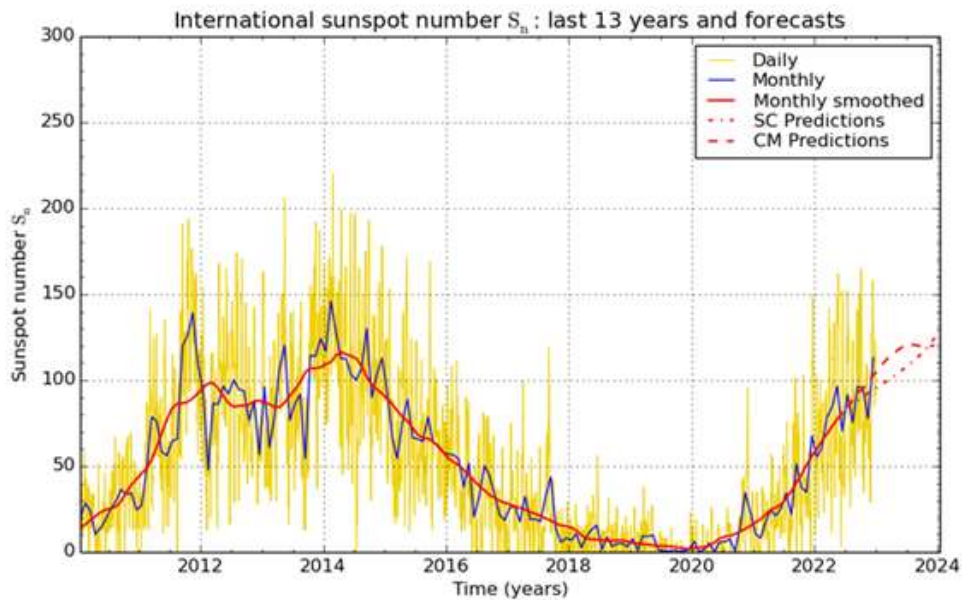


Figura 11.- Número de Manchas Solares. Últimos 13 años y pronóstico al 2024

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

Fue posible recopilar información y complementarla entre sí para lograr la observación de eventos y periodos de ocurrencia de sequías hidrológicas en las subcuencas del río Paraná y del río Uruguay que conforman la Cuenca del Plata.

Cabe destacar que los resultados son en base a datos, cuyos cauces han sido intervenidos y por ende tienen los efectos de acciones antropicas, como por ejemplo la construcción de embalses y su operación de caudales en distintos momentos de la historia. Aún así, en los últimos años se registraron bajantes intensas que podrían responder a múltiples factores, tales como manejo de embalses, usos del suelo, déficit de precipitaciones en las cuenca alta (países limítrofes), influencia de factores macroclimáticos, etc.

Lo antes señalado indicaría la necesidad de continuar estudiando las sequías hidrológicas de manera continua e interdisciplinaria para un mayor conocimiento del fenómeno en la cuenca y avanzar en las metodologías de identificación y caracterización del mismo, con vistas a desarrollar, a futuro, la compleja tarea de pronóstico de este fenómeno hidrológico extremo.

#### **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a Hydrological Drought Index. *European Water* 23/24:67-77.
- Royal Observatory of Belgium. (2023). <http://sidc.be/silso>. January 1.
- Vicario, L.; García, C.M.; Teich, I.; Dasso, C. (2014). Variabilidad de las sequías hidrometeorológicas en la región central de la Argentina. Memorias del IV Taller de Regionalización de precipitaciones Máximas. ISBN 978-987-45745-0-3. Provincia de Tucumán. Argentina.
- Vicario, L.; Díaz, E. García C. M., Rodríguez, A. (2019). Identification of pluriannual periodicities in series of drought indexes and its relationship with macroclimatic indicators. *Environmental and Sustainability Indicators Journal*. ISSN: 2665-9727/©. Elsevier Ed. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100009>. Accepted September 2019. Volumes 3–4, November–December 2019.
- Wagner Gómez, A. I., Ortiz Gómez, R., Barragán Barrios, M. del C. (2012). Evaluación de la sequía hidrológica en la cuenca Lerma Chapala. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco, Guerrero, México.
- Webb, E. J. and B. I. Magi "The Ensemble Oceanic Niño Index." *International Journal of Climatology* (2021). Updated: Nov 28,2022,