

## INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

### Informe expeditivo: Evaluación de sequías hidrológicas en dos secciones del río Paraná.

06 de Julio de 2020.

Dra. Ing. LETICIA VICARIO

#### 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.

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 dos secciones de interés tales como Corrientes y Pilcomayo (Figura 1) en el río Paraná, con la finalidad de evaluar las características y evolución de los ciclos secos en los años con registros históricos de caudales medios mensuales.

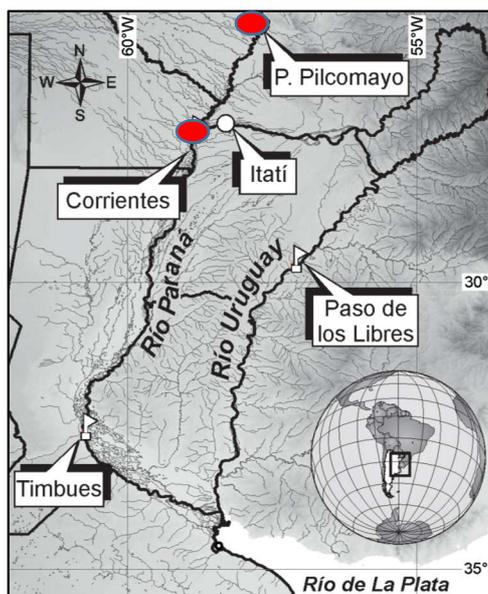


Figura 1: Representación de la ubicación geográfica (círculos rojos) de las estaciones de medición Corrientes y Puerto Pilcomayo en la Cuenca del Plata. (Fuente: Meis y Llano, 2017)

## INFORMACIÓN UTILIZADA

A los fines de desarrollar el presente trabajo, se utilizaron las series de caudales medios mensuales de las estaciones previamente mencionadas con registros desde el año 1901 a 2020 (estación Corrientes) y desde el año 1910 a 2020 (estación Pilcomayo). En cada caso se evaluó el uso de la serie de datos organizada según el año hidrológico estimado. No se encontraron diferencias de importancia respecto de utilizar los registros ordenados según el año calendario, sobretodo atendiendo a la necesidad de utilizar los datos observados en los meses del corriente año, para evaluar la situación actual.

## ÍNDICE Y PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para analizar las sequías hidrológicas se utilizó el índice de sequía hidrológica SDI (por sus siglas en Inglés: Streamflow Drought Index)

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  $SDI_{i,k}$  el índice de sequía de caudales para el año hidrológico  $i$  y el intervalo considerado  $k$ .  $V_k$  y  $s_k$  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 1.

Tabla 1.- Valores del índice SDI según los distintos estados de sequía hidrológica.

Descripción	Criterio
<i>Sin sequía</i>	$SDI > 0$
<i>Sequía suave</i>	$-1 \leq SDI < 0$
<i>Sequía moderada</i>	$-1,5 \leq SDI < -1$
<i>Sequía severa</i>	$-2 \leq SDI < -1,5$
<i>Sequía extrema</i>	$SDI < -2$

Posteriormente se establecieron las relaciones de regresión entre los intervalos de los índices de cada año, para luego estimar los índices faltantes del año 2020. Se calculó el error relativo entre los valores observados y estimados a partir de las funciones encontradas, para evaluar las que mejor ajustan en cada caso.

Además, se analizó la cantidad de eventos (años) con ocurrencia de sequías hidrológicas moderadas, severas o extremas, en cada década de la serie de datos.

## RESULTADOS

### Estación Corrientes

En la siguiente figura se observan los valores del índice SDI (para cada uno de sus intervalos), calculados en cada año de la serie de registros (1901-2020)

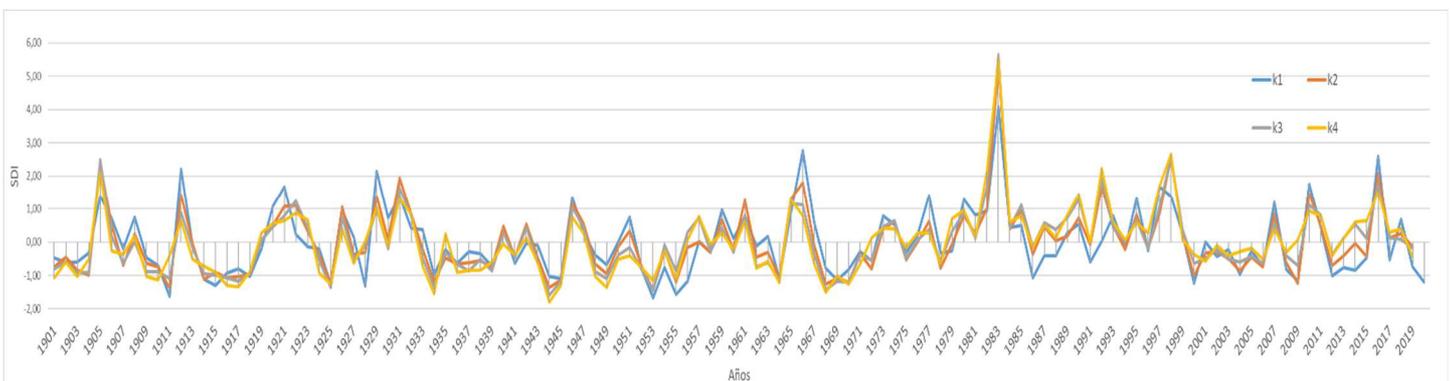


Figura 2: Valores del índice SDI de los caudales medios mensuales en la estación Corrientes, para cada intervalo k1 (3 meses), k2 (6 meses), k3 (9 meses) y k4 (12 meses). Período 1901-2020.

Se establecieron las funciones de regresión lineal entre los distintos intervalos de los índices (previa evaluación de distintos tipos de funciones) y se hallaron los coeficientes (R2) que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.- Valores R2 entre índices de cada intervalo de tiempo

Valores de R2			
	k2	k3	k4
k1	0,79	0,63	0,54
k2		0,93	0,82
k3			0,94

A partir de los registros de caudales de los primeros tres meses (k1) del año 2020 fue posible obtener los índices subsiguientes. Es decir, el índice k1 (de enero a marzo) fue de (-1,20) y a partir de éste, los índices estimados que se obtuvieron según las funciones de regresión encontradas, fueron para k2 (de enero a junio) de (-1,08), k3 (de enero a septiembre) de (-1,04) y el índice k4 (de enero a diciembre) de (-1,01). Es decir que, si bien hay un nivel de sequía hidrológica moderada, la expectativa para el resto del año 2020, sería que se mantenga la condición, pero con una leve tendencia a mejorar o caracterizarse como suave.

De la misma manera se estimaron la totalidad de los índices a través de las funciones para hallar el error relativo entre los valores estimados y los valores calculados con registros observados. Los resultados hallados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.- Error relativo entre los índices estimados a partir de funciones y los obtenidos con datos observados.

Error relativo			
	$k2 f(k1)$	$k3 f(k2)$	$k4 f(k3)$
Máximo	33,60	45,51	4,06
Promedio	0,35	0,45	-0,21

Es posible observar que las estimaciones más confiables en esta estación, es la de los índices del intervalo k4 a partir de los datos del intervalo k3, tal como se muestra en la siguiente figura.

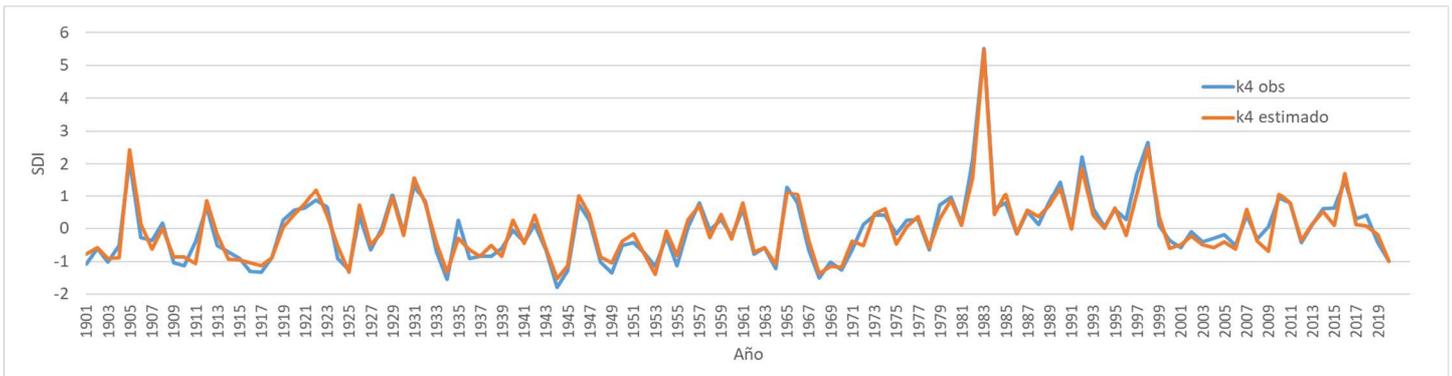


Figura 3.- Índices SDI calculados a partir de datos observados y los estimados a partir de los valores de los índices del intervalo precedente k3.

Se evaluaron la cantidad de años en cada una de las décadas que se caracterizaron como secos moderados, severos o extremos, para cada uno de los intervalos k. Los resultados de muestran en la tabla4 y figura 4. Es posible observar una disminución notable de años con sequías a lo largo de varios meses, a partir de la década del '80. Aunque no se observa un patrón uniforme que permita inferir ciclos a niveles decádicos. No se observaron índices de sequías extremas.

Tabla 4.- Cantidad de años en cada una de las décadas, con sequías moderadas, severas o extremas para los intervalos del índice SDI. Estación Corrientes

		Cantidad de años con sequía moderada o severa			
	Década	k1	k2	k3	k4
Siglo XX	0	0	0	0	3
	10	3	4	3	3
	20	2	1	1	1
	30	0	1	1	1
	40	2	2	3	4
	50	2	2	1	2
	60	2	3	3	3
	70	0	1	1	1
	80	1	0	0	0
	90	0	0	0	0
Siglo XXI	00	2	2	0	0
	10	1	0	0	0
	20	1			

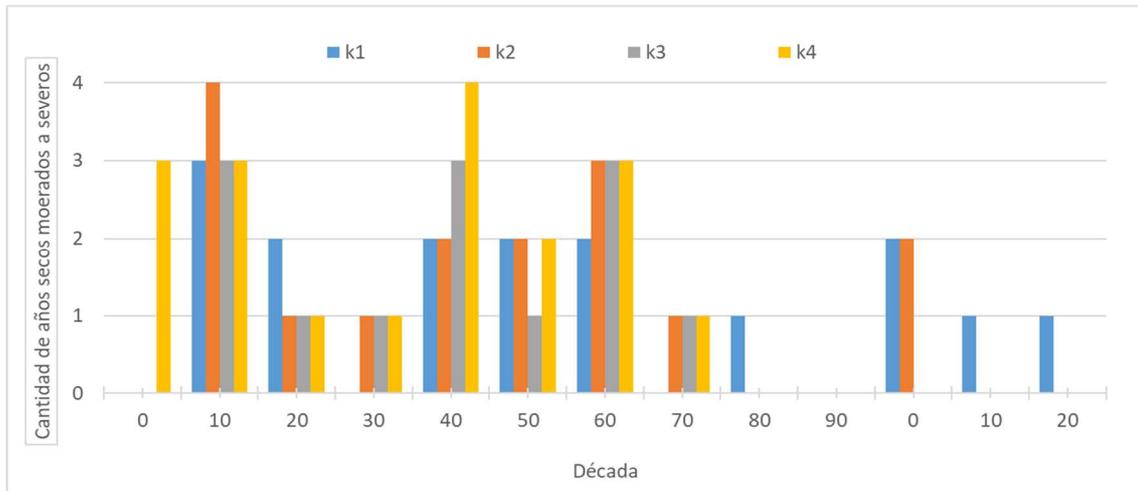


Figura 4.- Cantidad de años en cada una de las décadas, con sequías moderadas, severas o extremas para los intervalos del índice SDI. Estación Corrientes

## Estación Pilcomayo

Tal como en la estación anterior, se aplicaron y se evaluaron los mismos procedimientos y aspectos, respectivamente.

En la siguiente figura se observan los valores del índice SDI (para cada uno de sus intervalos), calculados en cada año de la serie de registros (1910-2020).

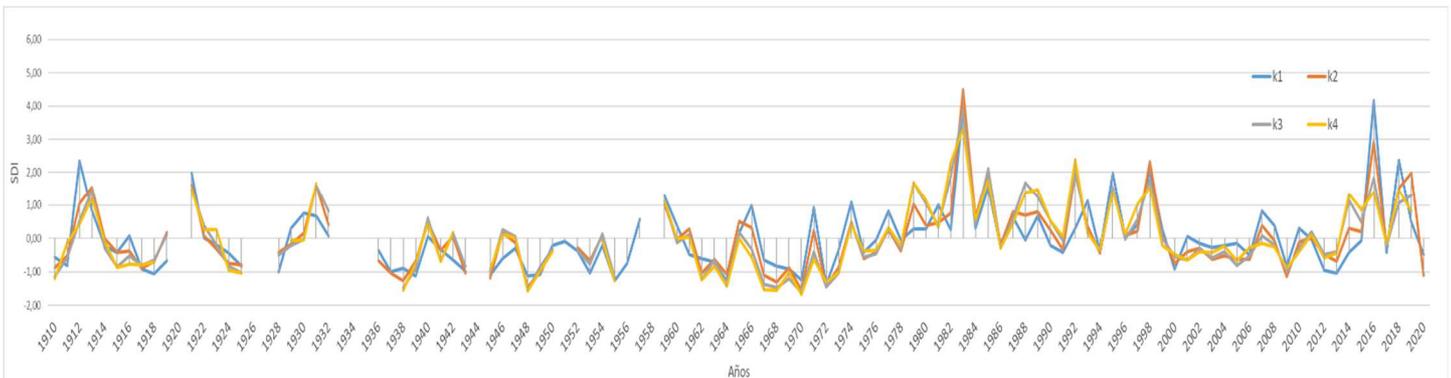


Figura 5: Valores del índice SDI de los caudales medios mensuales (discontinuos) en la estación Pilcomayo, para cada intervalo k1 (3 meses), k2 (6 meses), k3 (9 meses) y k4 (12 meses). Período 1910-2020.

Se establecieron las funciones de regresión lineal entre los distintos intervalos de los índices (previa evaluación de distintos tipos de funciones) y se hallaron los coeficientes (R2) que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.- Valores R2 entre índices de cada intervalo de tiempo

Valores de R2			
	k2	k3	k4
k1	0,77	0,59	0,52
k2		0,90	0,81
k3			0,96

A partir de los registros de caudales de los primeros seis meses (k1 y k2) del año 2020 fue posible obtener los índices subsiguientes. Es decir, el índice k1 (de enero a marzo) fue de (-0,49) y k2 (de enero a junio) de (-1,10) a partir de éstos, los índices estimados que se obtuvieron según las funciones de regresión encontradas, fueron para, k3 (de enero a septiembre) de (-1,07) y el índice k4 (de enero a diciembre) de (-1,04). Es decir que, si bien el año comenzó con un nivel de sequía hidrológica suave, la expectativa para el resto del año 2020, sería que se la condición pasara a moderada leve, pero con tendencia a mantenerse en esos umbrales.

De la misma manera se estimaron la totalidad de los índices a través de las funciones, para hallar el error relativo entre los valores estimados y los valores calculados con registros observados. Los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6.- Error relativo entre los índices estimados a partir de funciones y los obtenidos con datos observados.

Error relativo			
	$k2 f(k1)$	$k3 f(k2)$	$k4 f(k3)$
Máximo	3,00	4,14	54,68
Promedio	-1,43	-0,13	0,33

Es posible observar que las estimaciones más confiables en esta estación, es la de los índices del intervalo k3 a partir de los datos del intervalo k2, tal como se muestra en la siguiente figura.

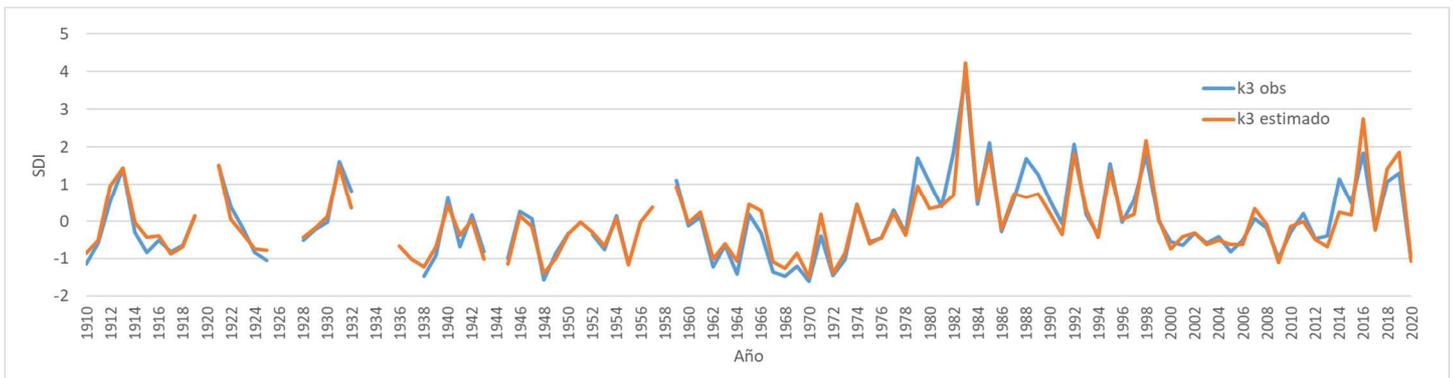


Figura 6.- Índices SDI calculados a partir de datos observados (discontinuos) y estimados a partir de los valores de los índices del intervalo precedente k2.

También se evaluaron la cantidad de años en cada una de las décadas, que se caracterizaron como secos moderados, severos o extremos, para cada uno de los intervalos k. Los resultados de muestran en la tabla y figura 7. Es posible observar una disminución notable de años con sequías a lo largo de varios meses, a partir de la década del '80. Aunque no se observa un patrón uniforme que permite inferir ciclos a niveles decádicos. No se observaron índices de sequías extremas.

Tabla 7.- Cantidad de años en cada una de las décadas, con sequías moderadas, severas o extremas para los intervalos del índice SDI. Estación Pilcomayo

		Cantidad de años con sequía moderada o severa				
		Década	k1	k2	k3	k4
Siglo XX	10	1	0	1	1	
	20	0	0	1	1	
	30	1	2	1	1	
	40	3	4	1	1	
	50	2	1	1	1	
	60	1	4	5	5	
	70	2	2	3	3	
	80	0	0	0	0	
	90	0	0	0	0	
Siglo XXI	00	0	1	0	0	
	10	1	0	0	0	
	20	0	1			

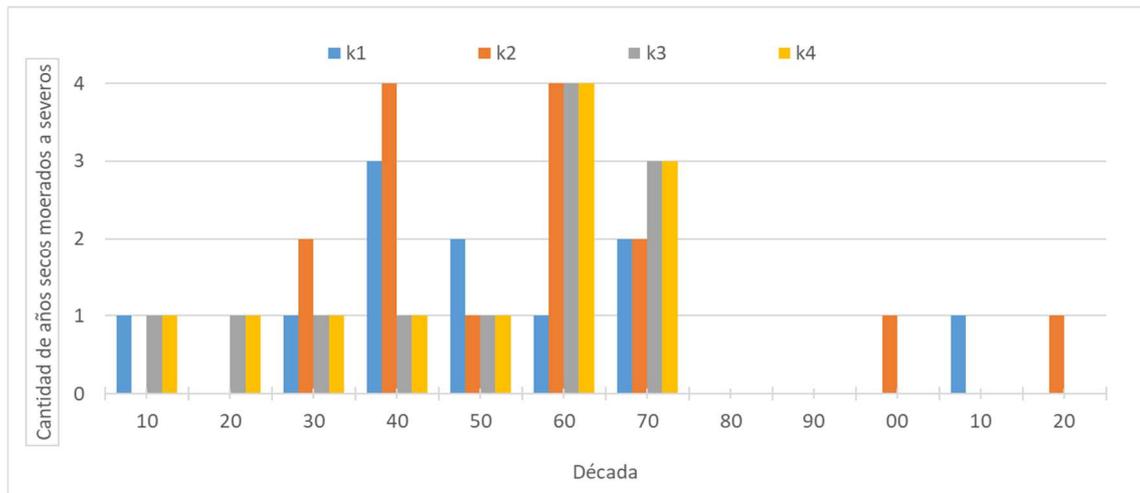


Figura 7.- Cantidad de años en cada una de las décadas, con sequías moderadas, severas o extremas para los intervalos del índice SDI. Estación Pilcomayo

## CONCLUSIONES PRELIMINARES

Fue posible relacionar los distintos valores del índice SDI a lo largo de cada año. En el caso de la estación Corrientes la estimación más confiable sería del índice para el nivel k4 (de enero a diciembre) en función del valor del índice para k3 (de enero a septiembre). En la estación Pilcomayo la estimación más confiable sería del índice para el nivel k3 (de enero a septiembre) en función del valor del índice k2 (de enero a junio). Es decir que, haciendo un seguimiento y actualización sistemática de los registros, sería factible tener una aproximación de la situación hidrológica en las secciones hidrométricas analizadas, para los 3 a 6 meses posteriores.

No se observa un patrón descriptivo de la ocurrencia de sequías hidrológicas a lo largo de las décadas, pero es posible observar una disminución notable de años caracterizados como secos, a partir de la década del '80. En ambas estaciones la frecuencia de sequías moderadas ronda el 12% y de sequías severas disminuye en torno al 2%. En ningún caso se observaron sequías extremas.

En base a lo observado en ambas estaciones, sería probable que los meses restantes del año 2020 permanecieran con un nivel de sequía hidrológica moderada a suave.

El análisis del presente informe es original en cuanto a antecedentes. Debido a esto es recomendable evaluar los resultados a medida que se actualicen los registros de caudales medios mensuales, de tal manera de permitir la validación y mejora de los procedimientos metodológicos utilizados.

## REFERENCIAS

- Meis, M. y Llanos, M. P. (2017). Modelado estadístico del caudal mensual en la baja Cuenca del Plata. Revista Meteorológica. Vol 43 No2 (2018) 63 – 77.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a Hydrological Drought Index. European Water 23/24:67-77.
- 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.
- 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.