

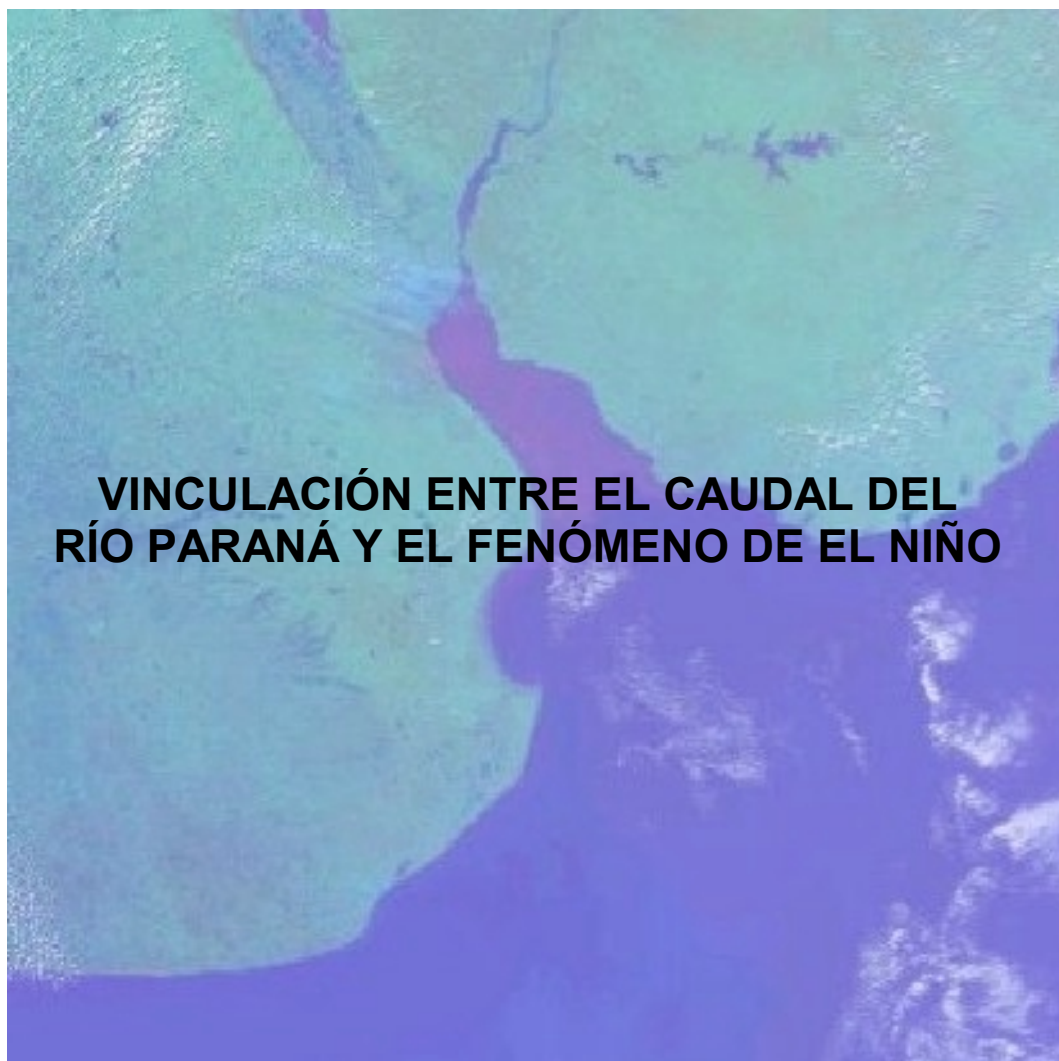


INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS
REPÚBLICA ARGENTINA



**PROYECTO “PROTECCIÓN AMBIENTAL DEL RÍO DE LA PLATA
Y SU FRENTE MARÍTIMO: PREVENCIÓN Y CONTROL
DE LA CONTAMINACIÓN Y RESTAURACIÓN DE HÁBITATS”**

**PROYECTO PNUD/GEF
RLA/99/G31**



**VINCULACIÓN ENTRE EL CAUDAL DEL
RÍO PARANÁ Y EL FENÓMENO DE EL NIÑO**

Imagen NOAA-AVHRR 11/03/99 (CONAE- República Argentina)



**Proyecto LHA 216
Informe LHA 02-216-03
Ezeiza, Febrero de 2003**

LABORATORIO DE HIDRÁULICA

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE:

Ing. Oscar V. LICO

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS:

Dr. Raúl A. LOPARDO

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA:

Ing. Julio C. DE LÍO

JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL:

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

EQUIPO DE TRABAJO

Ing. Patricia R. JAIME

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Téc. Julio A. TORCHIO

INFORME PRODUCIDO POR

Ing. Patricia R. JAIME

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

VINCULACIÓN ENTRE EL CAUDAL DEL RÍO PARANÁ Y EL FENÓMENO DE EL NIÑO

Informe

Patricia R. Jaime y Ángel N. Menéndez

RESUMEN

El fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) es la principal causa que explica la variabilidad interanual y estacional de la circulación atmosférica y, en consecuencia, de las precipitaciones en amplias regiones del Cono Sur. En este trabajo se relaciona la serie de caudales medios mensuales del río Paraná en la sección del Túnel Paraná-Santa Fe con la serie mensual de anomalías de temperatura de la superficie del mar (TSM) en la región Niño 3, el índice de El Niño propuesto por la JMA y el índice de Oscilación del Sur (IOS). Se muestra que el tiempo de retardo entre las máximas anomalías de TSM y de caudal medio mensual es de entre 3 y 5 meses, que las vinculaciones entre anomalías de caudal y anomalías de TSM en Niño 3 son mucho más intensas en el período 1971-2001 que en el que lo antecede y que la anomalía de caudal para la que se obtiene mayor correlación con la anomalía de TSM es la que corresponde al mes de junio, con un tiempo de retardo de 3 meses. Del análisis de contingencia categórica de eventos, surge que existe una fuerte vinculación entre el fenómeno de El Niño y caudales sobre lo normal. Finalmente, se muestra que existe una muy alta correlación entre el volumen de agua de exceso asociado a las máximas crecidas históricas motorizadas por El Niño y el mínimo valor antecedente de IOS, lo cual podría ser utilizado con fines de pronóstico.

Descriptores temáticos: Crecidas, anomalías de temperatura de la superficie del mar, El Niño, Oscilación del Sur.

Descriptores geográficos: Río Paraná, República Argentina.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PRESENTACION Y ANÁLISIS DE DATOS	3
2.1	SERIE DE CAUDALES	3
2.2	SERIES CLIMÁTICAS	3
2.3	ANALISIS INDIVIDUAL DE LAS SERIES	4
2.4	SERIES ESTACIONALES	9
2.5	COMPLEMENTACION DE LA SERIE CLIMATICA	14
3	ASOCIACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE ENSO Y CAUDAL DEL RÍO PARANÁ	22
3.1	CORRELACIÓN ENTRE ANOMALÍAS DE CAUDAL Y DE TSM	22
3.2	ANÁLISIS DE ANOMALÍAS DEL CAUDAL TRIMESTRAL	35
3.2.1	<i>Análisis de anomalías del caudal trimestral vinculadas a anomalías mensuales de TSM</i>	35
3.2.2	<i>Análisis de anomalías del caudal trimestral y anomalías trimestrales de TSM</i>	43
3.3	DISCUSION	49
4	RELACIÓN ENTRE EL ENSO Y LAS GRANDES CRECIDAS DEL RÍO PARANÁ	51
4.1	IDENTIFICACION DE GRANDES CRECIDAS	51
4.2	COMPARACIÓN ENTRE EL ENSO Y LAS GRANDES CRECIDAS	51
4.3	RELACIÓN ENTRE EL NIÑO Y LAS GRANDES CRECIDAS	69
5	CONCLUSIONES	78
	REFERENCIAS	79

FIGURAS

- Figura 2.1 Anomalías de caudal medio mensual del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño3 en 1950-70*
- Figura 2.2 Anomalías de caudal medio mensual del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño3 en 1970-01*
- Figura 2.3 Diagramas de caja de las anomalías de caudal medio mensual y de TSM en Niño3 (CPC) en el período 1950-01*
- Figura 2.4 Espectro de potencia continuo de anomalías de TSM en Niño3 (CPC) en 1950-2001*
- Figura 2.5 Distribución de Anomalías de caudal medio mensual del río Paraná en Paraná en el período 1950-2001*
- Figura 2.6 Distribución de Anomalías de TSM en Niño 3 (CPC) en el período 1950-2001*
- Figura 2.7 Anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en Niño3 en 1950-2001(a)*
- Figura 2.8 Anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en Niño3 en 1950-01(b)*
- Figura 2.9 Diagramas de caja de anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral (a)*
- Figura 2.10 Diagramas de caja de anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral (b)*
- Figura 2.11 Índices de Enso en el período 1902-1935*
- Figura 2.12 Índices de Enso en el período 1936-1970*
- Figura 2.13 Índices de Enso en el período 1971-2001*
- Figura 2.14 Índice JMA de ENSO en el período 1902-2001*
- Figura 2.15 Índice IOS en el período 1902-2001*
- Figura 2.16 Diagramas de caja de los Índices JMA e IOS de ENSO en el período 1902-2001*
- Figura 2.17 Espectro de potencia continuo del Índice JMA de anomalías de TSM 1902-2001*
- Figura 2.18 Espectro de potencia continuo del Índice IOS normalizado 1902-2001*
- Figura 3.1 Coeficiente de correlación entre anomalías de caudal medio mensual en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 (1950-2001)*

- Figura 3.2 Coeficiente de correlación entre anomalías de caudal medio trimestral en Paraná (a) y anomalías trimestrales de TSM en Niño 3 (1950-2001)*
- Figura 3.3 Coeficiente de correlación entre anomalías de caudal medio trimestral en Paraná (b) y anomalías de TSM en Niño 3 (1950-2001)*
- Figura 3.4 Coeficientes de correlación y tiempos de retardo entre anomalías de caudal medio mensual en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3*
- Figura 3.5 Coeficientes de correlación y tiempos de retardo entre anomalías filtradas de caudal medio mensual en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3*
- Figura 3.6 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (a) y anomalías mensuales de TSM en Niño3*
- Figura 3.7 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (a) y anomalías mensuales de TSM en Niño3*
- Figura 3.8 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (b) y anomalías trimestrales de TSM en Niño3*
- Figura 3.9 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (b) y anomalías trimestrales de TSM en Niño3*
- Figura 4.1a Caudales medios mensuales del Río Paraná en el período 1902-1951*
- Figura 4.1b Caudales medios mensuales del Río Paraná en el período 1952-2001*
- Figura 4.2 Crecida de 1905 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.3 Crecida de 1912 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.4 Crecida de 1921-22 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.5 Crecida de 1926 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.6 Crecida de 1929 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.7 Crecidas de 1931 y 1932 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.8 Crecida de 1935 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.9 Crecida de 1946 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.10 Crecida de 1951 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.11 Crecida de 1957 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.12 Crecida de 1959 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*
- Figura 4.13 Crecida de 1961 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe*

Figura 4.14 Crecidas de 1965 y 1966 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.15 Crecida de 1977 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.16 Crecida de 1982-83 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.17 Crecida de 1987 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.18 Crecida de 1989/90 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.19 Crecida de 1992 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.20 Crecida de 1995 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.21 Crecida de 1997-98 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

Figura 4.22 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice de anomalías de TSM máximo antecedente

Figura 4.23 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS mínimo antecedente

Figura 4.24 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice de anomalías de TSM máximo antecedente

Figura 4.25 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS mínimo antecedente

Figura 4.26 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice trimestral de anomalías de TSM máximo antecedente

Figura 4.27 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS trimestral mínimo antecedente

Figura 4.28 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice trimestral de anomalías de TSM máximo antecedente

Figura 4.29 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS trimestral mínimo antecedente

1 INTRODUCCIÓN

El río Paraná es el río más importante del sistema hidrográfico del Río de la Plata debido a la magnitud de sus caudales, la extensión de su área de aporte y la longitud de su curso. La superficie de su cuenca abarca 1.510.000 km², a la que se agregan 1.095.000 km² de la subcuenca del río Paraguay.

Su longitud es de 2.570 km desde la confluencia entre el Paranaíba y el Grande - que dan origen - hasta su desembocadura, y de 3.740 km si se le agrega el recorrido del primero. Luego de unirse al Paraguay, el río desciende con una muy leve pendiente, de 0,036 m/km, hasta su desembocadura. Su ancho va disminuyendo desde 4.200 m frente a Corrientes hasta 2.000 m en Rosario. El lecho de inundación es, sin embargo, bastante mayor y extendido casi totalmente sobre la margen derecha, mucho más baja. El ancho de esta planicie de inundación, que varía entre 13 km frente a Corrientes hasta 56 km en la sección Rosario-Victoria, señala la enorme extensión que puede abarcar el Paraná durante sus grandes crecidas.

En los tramos medio e inferior (a partir de la confluencia con el río Paraguay hasta la ciudad de Paraná y desde allí hasta su bifurcación en Paraná de las Palmas y Paraná Guazú, respectivamente) el cauce principal presenta numerosas islas, diseminadas a lo largo de su curso, las cuales son cubiertas totalmente por las aguas de crecida.

La génesis de los aportes del río Paraná indica que las lluvias que se producen en las cuencas de aporte del Alto Paraná, río Iguazú y río Paraguay son las causantes directas de los derrames en los tramos medio e inferior, presentando una baja incidencia los aportes propios de dichos tramos. Los bajos aportes propios de esta zona se deben fundamentalmente al régimen de precipitaciones en los tramos medio e inferior, con menores montos que en el tramo superior y con fuerte decrecimiento de este a oeste. A esto se suman las características físicas de las áreas de aporte propias de los tramos medio e inferior, en su mayor proporción típicamente de llanura, con gran capacidad de almacenamiento superficial y baja escorrentía (Giacosa et al., 2000).

En todo el tramo medio se ha estimado que, en promedio, el Paraná incorpora de sus afluentes de ambos márgenes aportes del orden de no más de 1000 m³/s. Sin embargo, la ocurrencia de crecidas propias de los afluentes superpuestas a situaciones extremas en el curso principal puede tener, debido a efectos de remanso, una incidencia decisiva en las áreas inundables ribereñas.

Las estaciones con mediciones de caudales en forma sistemática, desde principios de siglo, son Posadas, Corrientes, Túnel y Timbúes, pero es la estación Corrientes la que presenta una sección que puede considerarse de control, ya que prácticamente pasa por la misma todo el volumen escurrido sin desbordes importantes. Este hecho, sumado a la escasa magnitud de los aportes en el tramo medio, determinan que, en general, los registros utilizados para el estudio del régimen hidrológico del Paraná sean los de esta estación.

Numerosos estudios se han referido exhaustivamente al régimen de crecidas del río, que originan grandes inundaciones en el territorio argentino. En el estudio de Motor Columbus y Asociados (1979) se consideraron los caudales registrados en la estación Corrientes durante el período 1905-1978, concluyéndose que en esa estación, en promedio, ocurren crecidas que producen daños apreciables cada 10 años. Aisiks (1984) presentó el cálculo del volumen total precipitado y escurrido hasta la estación Posadas durante la gran crecida de 1983. Ceirano y otros (1985) determinaron la influencia de la misma crecida en la estimación de los parámetros de caudales máximos.

S. W. Halcrow & Partners (1994) hace referencia a que la incidencia y la severidad de las crecidas están en aumento. Paoli y otros (1991, 1995, 1997) y Cacik y otros (1992, 1993, 1997) presentaron estudios completos de las crecidas del Río Paraná en las estaciones Posadas y Corrientes, en los que se describen las características de estacionalidad de los picos y su variación en diferentes períodos, se evalúan las formas de las crecidas y se establecen características comparativas de los hidrogramas de los principales eventos.

Camilloni y Barros (2000) estudiaron la respuesta del río Paraná a los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98 en la estación Corrientes. Camilloni y Barros (2001) también analizaron y clasificaron las mayores descargas del Río Paraná en Corrientes durante el último siglo de acuerdo a tres grupos, según su ocurrencia estacional, y estudiaron su vinculación con los patrones de anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en los océanos Pacífico y Atlántico Sur

El fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) es la principal causa que explica la variabilidad interanual y estacional de la circulación atmosférica en amplias regiones del cono sur. A pesar de su variabilidad temporal, el análisis lineal de la asociación entre el ENSO y el clima continental indica que el ENSO afecta directamente el clima de más de la mitad del globo (Ropelewski and Halper, 1987).

La correlación entre anomalías climáticas/hidrológicas en América del Sur y el ENSO ha sido extensivamente investigada desde el inicio de la década de 1990 (Vázquez, 1994, Berri, 1996, Grim, 1996a, 1996b). Varios de esos estudios abordaron la asociación entre ENSO y precipitación, con resultados que indican que el ENSO es precursor de anomalías de lluvia en algunas áreas del sudeste de América del Sur. Más recientemente, la asociación estadística entre ENSO y descargas y volúmenes acumulados en diferentes ríos de la región fueron descriptas por Waylen y Caviedes (1990) y por Mechoso e Iribaren (1992).

Ya que los caudales sintetizan la respuesta integrada de la cuenca a las variables hidrológicas, es de especial interés estudiar el impacto que los fenómenos extremos del ENSO tienen sobre los caudales. Este trabajo presenta resultados obtenidos al estudiar la relación entre los índices de ENSO y los caudales y volúmenes acumulados del río Paraná registrados en la sección del cierre Paraná-Santa Fe. Se utiliza, básicamente, la serie de caudales medios mensuales para el período 1931-2001, que fuera extensamente analizada por Jaime y Menéndez (2002). Dada la necesidad de determinar las características de los caudales ingresantes en la cabecera del Río de la Plata, en el marco del proyecto PNUD/GEF/RLA/99/G31 "Protección Ambiental del Río de la Plata y su frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y restauración de Hábitats", la utilización de los caudales en la sección Paraná-Santa Fe resulta preferible frente a los de la estación Corrientes, ya que incorpora todo el tramo medio del río Paraná, donde se han detectado aportes significativos durante crecidas extraordinarias.

2 PRESENTACION Y ANÁLISIS DE DATOS

2.1 SERIE DE CAUDALES

Tal como fue mencionado, se utilizan los datos de caudal medio mensual del río Paraná en la sección del Túnel Paraná-Santa Fe descriptos en Jaime y Menéndez (2002), donde se caracteriza el régimen hidrológico y se identifica fehacientemente el comienzo de un ciclo húmedo desde inicios de la década del 70, se distingue un ciclo anterior relativamente seco iniciado a principios de la década del 40, se estudian las características de estacionalidad y se identifican componentes periódicas de variabilidad interanual.

A partir de esta serie de caudales medios mensuales se construyó la serie de anomalías normalizadas de caudal medio mensual, considerando los cambios experimentados por el régimen del río Paraná, definiendo:

$$AQ = \frac{Q_{mm} - \overline{Q_{mm}}}{S_{Q_{mm}}}$$

donde AQ es la anomalía de caudal, Q_{mm} es el caudal medio mensual y $\overline{Q_{mm}}$ y $S_{Q_{mm}}$ el valor medio y la desviación estándar del caudal medio mensual en el ciclo correspondiente, respectivamente.

2.2 SERIES CLIMÁTICAS

Las anomalías climáticas fueron consideradas a través de un índice de anomalías de temperatura de la superficie del mar (TSM) y el índice de Oscilación del Sur (IOS).

El índice de El Niño corresponde a la serie mensual de anomalías de temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3 (5°S-5°N, 90°O-150°O) del Climate Prediction Center, CPC, NOAA, http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/Nino_3_3.4_indices.html, para el período 1950-2001. Esta serie de anomalías mensuales se obtiene sustrayendo el valor medio del período 1950-79 a la serie temporal para el conjunto total (1950-01) y aplicándole una media móvil de 5 meses. Valores por encima de 0,5 °C o inferiores a -0,5 °C indican eventos ENSO cálidos y fríos, respectivamente.

El Índice de Oscilación del Sur (IOS) es una medida de las fluctuaciones de gran escala en la presión atmosférica entre el Oeste y el Este del Pacífico tropical durante los episodios El Niño y La Niña.

Tradicionalmente, este índice ha sido calculado sobre la base de las diferencias de anomalías de presión atmosférica entre Tahití y Darwin, Australia. La fase negativa del IOS representa presión atmosférica bajo la normal en Tahití y sobre la normal en Darwin.

2.3 ANALISIS INDIVIDUAL DE LAS SERIES

La series temporales de anomalías de caudal medio mensual y anomalías de TSM en Niño 3 para el período común 1950-2001 se muestran en las figuras 2.1 y 2.2.

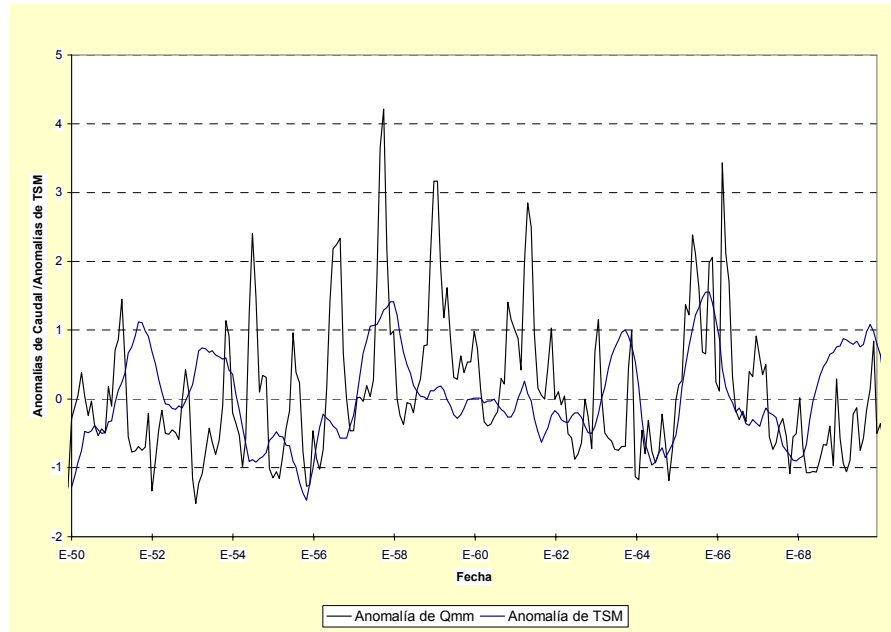


Figura 2.1 Anomalías de caudal medio mensual del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño3 en 1950-70

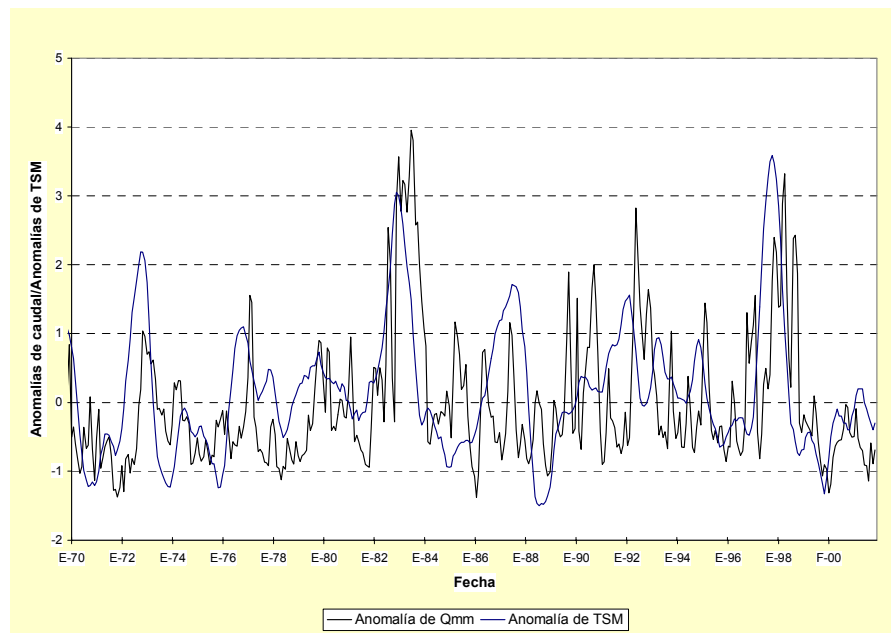


Figura 2.2 Anomalías de caudal medio mensual del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño3 en 1970-01

En la figura 2.3 se presentan los diagramas de caja de las series temporales de anomalías en el período 1950-01. En ella, y de aquí en adelante, los extremos de la caja representan los percentiles de 25 y 75%, expresando la variabilidad de los datos, mientras que la tendencia central se indica por la línea interior representativa de la mediana. Los extremos horizontales definen los valores máximo y mínimo en el período.

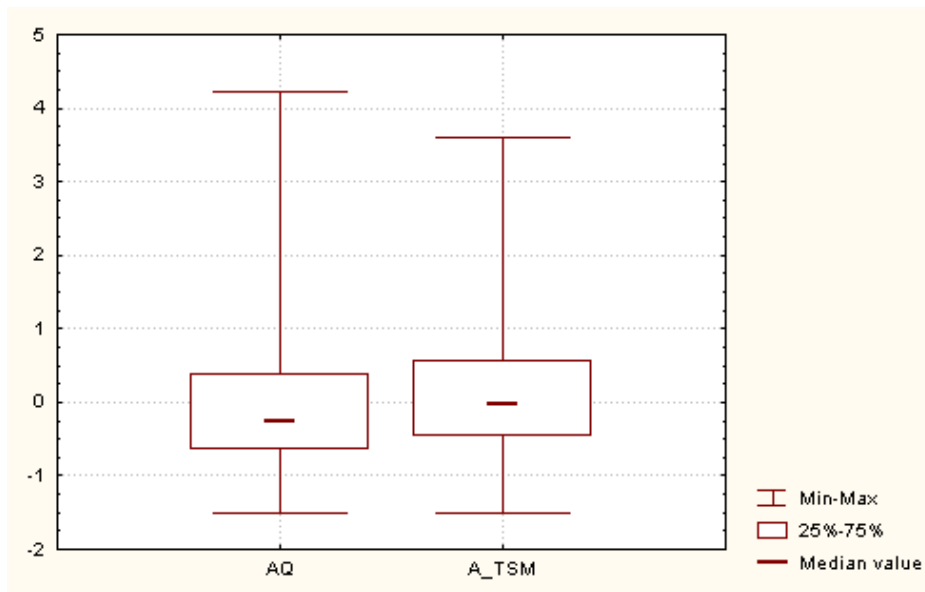


Figura 2.3 Diagramas de caja de las anomalías de caudal medio mensual y de TSM en Niño3 (CPC) en el período 1950-01

El valor medio, la desviación estándar y los valores máximo y mínimo de las anomalías de caudal medio mensual y de TSM en el período 1950-01 se indican en la tabla 2.1. Las anomalías de caudal medio mensual máxima y mínima se registraron en Octubre de 1957 y Febrero de 1953, respectivamente, mientras que las máxima y mínima anomalías de TSM en Niño 3 se produjeron en Noviembre de 1997 y Agosto de 1988, respectivamente.

Tabla 2.1

Estadísticos de las anomalías de caudal y de TSM (CPC) en el período 1950-2001

	<i>AQ</i>	<i>A TSM</i>
Media	0.03	0.10
Desvío estándar	0.99	0.85
Máximo	4.21	3.59
Mínimo	-1.52	-1.50
Cuartil superior	0.39	0.57
Cuartil inferior	-0.65	-0.47

Sobre la serie de valores del índice de ENSO se ha aplicado la técnica de onditas, ya que la misma permite analizar diferentes escalas características de variabilidad temporal manteniendo simultáneamente la localización temporal de los eventos principales sin exigir la estacionariedad de las series, siendo entonces apropiada para el análisis de eventos irregularmente distribuidos. Los resultados obtenidos, utilizando como onditas madre la onditas Morlet, se presentan en la figura 2.4 y se describen a continuación.

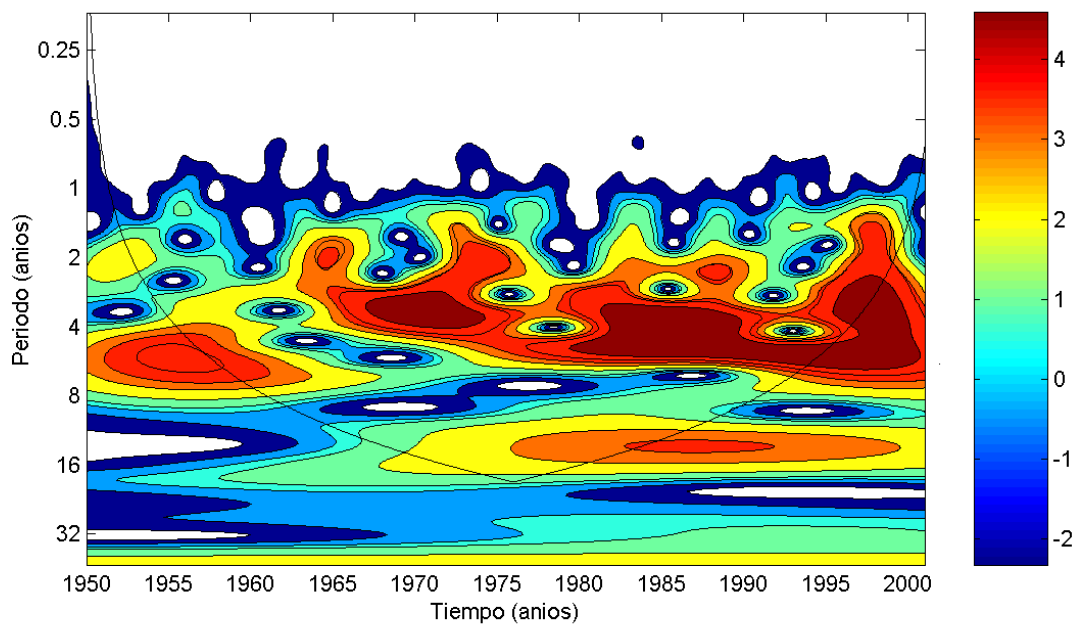


Figura 2.4 Espectro de potencia continuo de anomalías de TSM en Niño3 (CPC) en 1950-2001

Comenzando en 1950, se pueden observar variaciones de anomalías de temperatura en los primeros 15 años. Lo más notable se produce poco después de 1965, donde se evidencia una región de gran variabilidad con períodos en la franja de 2 a 4 años, alcanzando gran intensidad en una región centrada en el año 1970.

Una situación similar, pero de mayor duración, se puede observar a partir de 1980, donde, con una periodicidad en el entorno de 4 años, se extiende hasta poco antes del año 2001, donde el fenómeno abarca, con intensidad variable, las escalas correspondientes a poco menos de 1 año y hasta casi 8 años.

Con menos certidumbre se aprecia una región que comprende los años entre 1975 y 2000, cuya periodicidad corresponde a 10-12 años y muestra una región de mayor actividad que se extiende desde 1983 hasta 1992, aproximadamente.

Las figuras 2.5 y 2.6 presentan una vista global de la distribución temporal de las anomalías de caudal medio mensual del río Paraná y de TSM en Niño3, respectivamente, a lo largo de los 51 años del período.

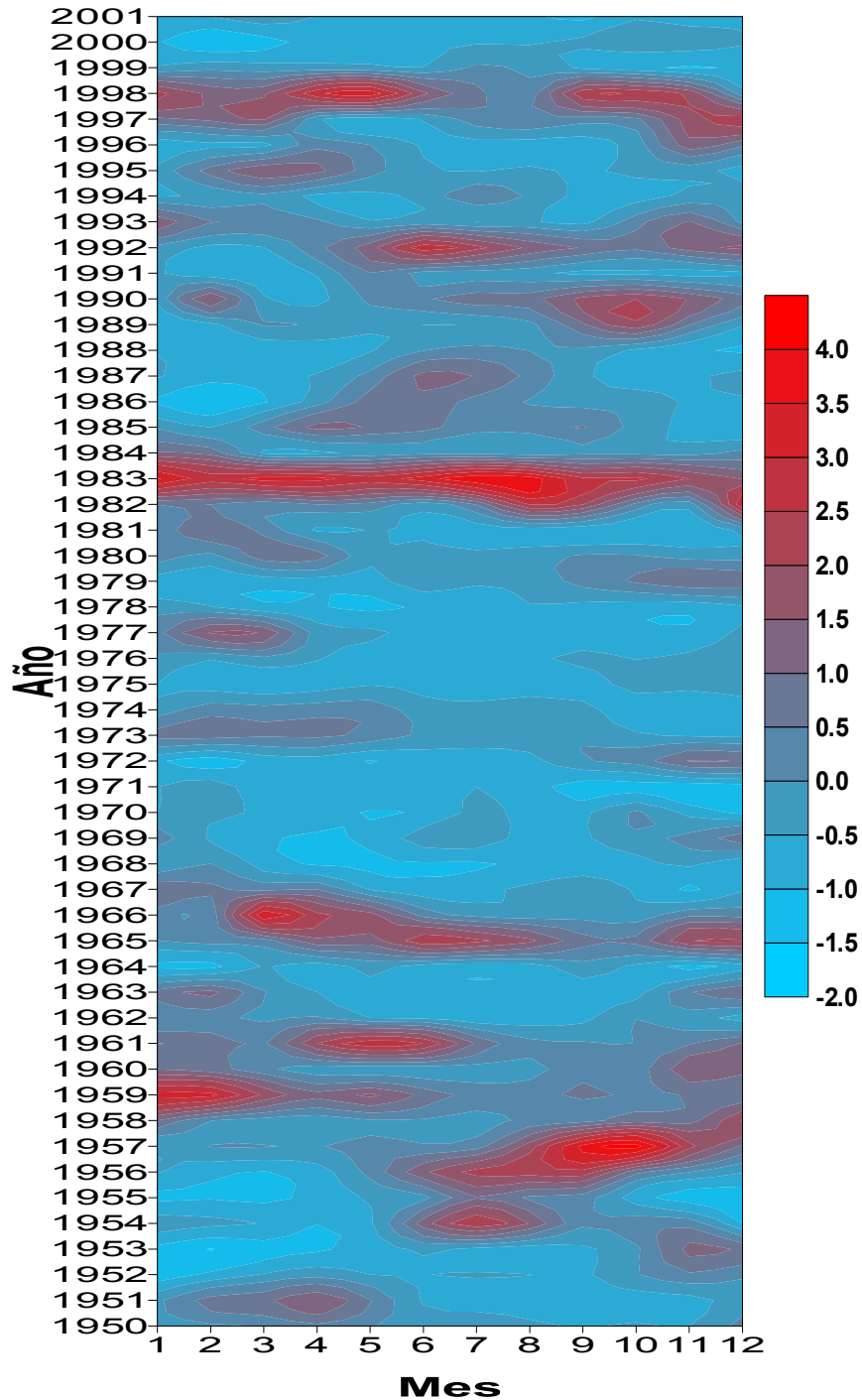


Figura 2.5 Distribución de Anomalías de caudal medio mensual del río Paraná en Paraná en el período 1950-2001

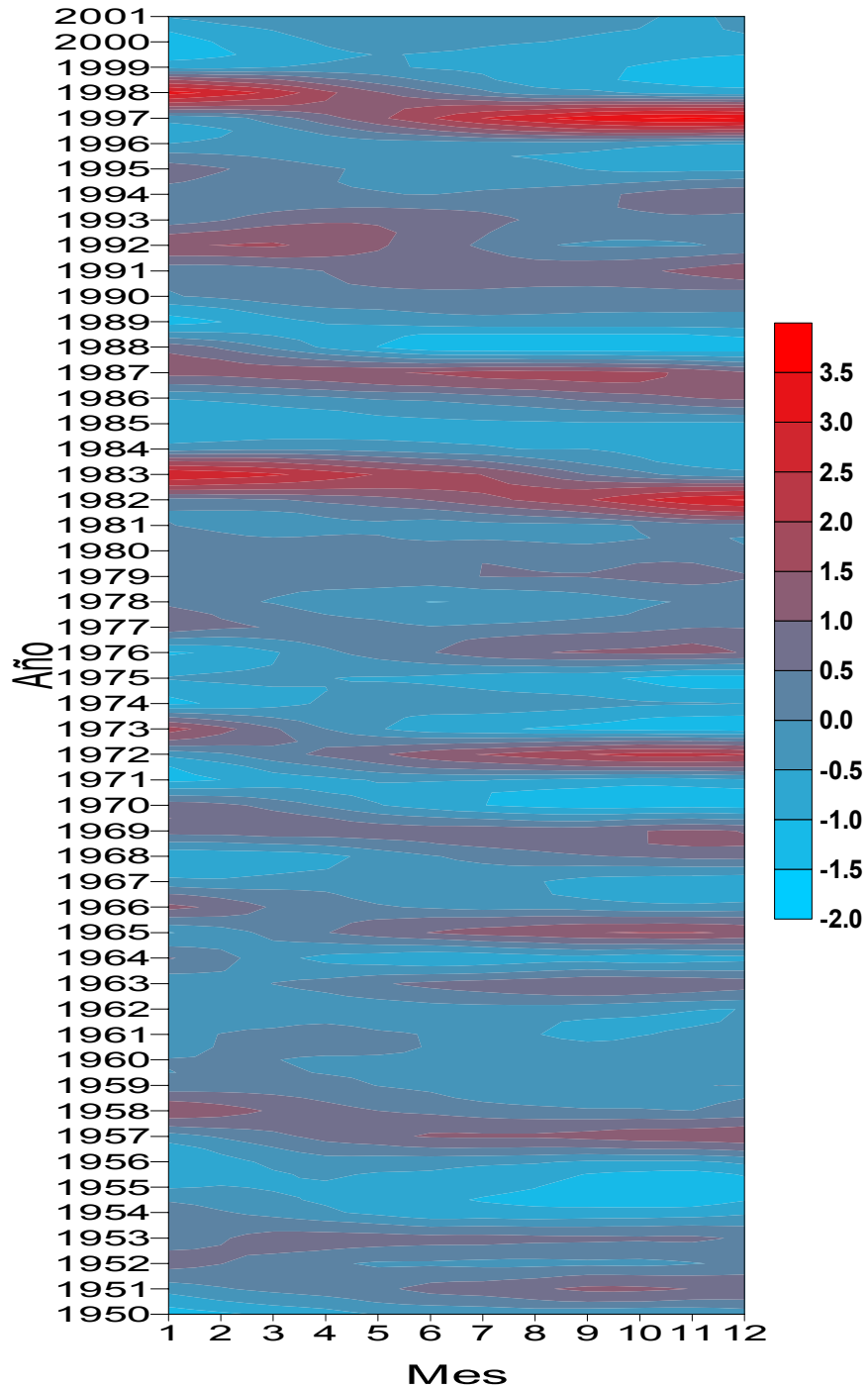


Figura 2.6 Distribución de Anomalías de TSM en Niño 3 (CPC) en el período 1950-2001

En la figura 2.5 se pueden identificar las máximas anomalías de caudal producidas en 1957, 1959, 1961, 1965, 1966, 1982/83, 1989, 1992, 1997 y 1998. En la figura 2.6 se

distinguen los períodos de intensas anomalías cálidas de TSM que permanecieron por lapsos de hasta más de un año (1957-58, 1982-83, 1987 y 1997-98) y otros de menor intensidad y duración en 1951, 1963, 1965 y 1972.

2.4 SERIES ESTACIONALES

Para identificar las asociaciones estacionales entre anomalías de caudal y de temperatura de la superficie del mar, se definió la anomalía de caudal estacional para los períodos Enero-Febrero-Marzo (EFM), Abril-Mayo-Junio (AMJ), Julio-Agosto-Septiembre (JAS) y Octubre-Noviembre-Diciembre (OND), agrupados por trimestre del año calendario (a), y a partir de los valores mensuales de anomalías de TSM en Niño 3 se calcularon los índices trimestrales de anomalías de TSM para los mismos trimestres.

Como se señaló antes, las anomalías de caudal trimestral normalizadas se calcularon también considerando los valores medios y desvíos de los caudales trimestrales de los subperíodos 1950-70 y 1970-01, para tener en cuenta las variaciones experimentadas por el caudal del río en las 3 últimas décadas. Así, la anomalía de caudal trimestral se define por

$$AQ_t = \frac{Q_t - \bar{Q}_t}{S_{Q_t}}$$

donde AQ_t es la anomalía de caudal trimestral, Q_t es el caudal trimestral y \bar{Q}_t y S_{Q_t} el valor medio y la desviación estándar del caudal medio trimestral en el ciclo correspondiente, respectivamente.

El valor medio, la desviación estándar y los valores máximo y mínimo de las anomalías de caudal medio trimestral y de TSM trimestral en el período 1950-01 se indican en la tabla 2.2, mientras en la figura 2.7 se representan los diagramas de caja correspondientes a estas series de valores trimestrales.

Tabla 2.2
Estadísticos de las anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en Niño 3 en 1950-2001(a)

	<i>AQ</i>	<i>A TSM</i>
Media	0.032	0.11
Desvío estándar	0.99	0.84
Máximo	3.82	3.52
Mínimo	-1.48	-1.48
Cuartil superior	0.49	0.54
Cuartil inferior	-0.68	-0.44

La máxima anomalía de caudal trimestral se da en el trimestre JAS de 1983 y la mínima en el trimestre OND de 1971. Las anomalías máxima y mínima de TSM trimestral ocurrieron en los trimestres OND de 1996 y JAS de 1987, respectivamente.

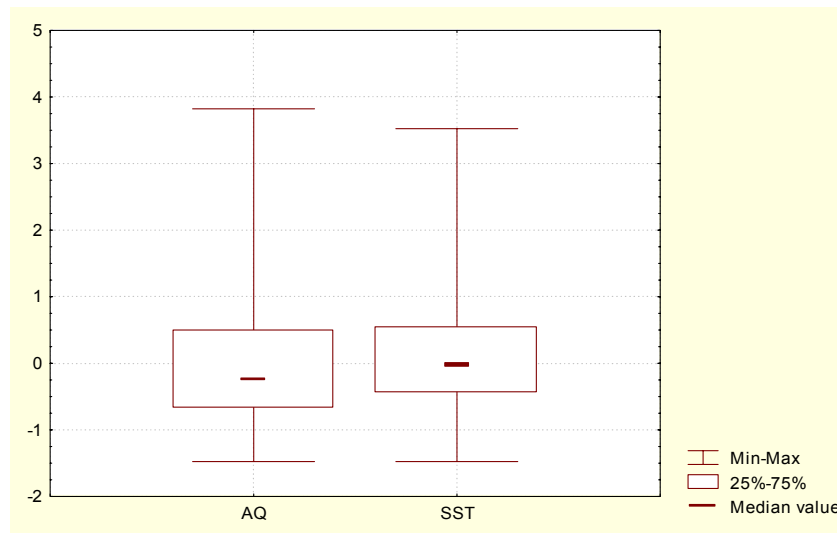


Figura 2.7 Anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en Niño3 en 1950-2001(a)

Ya que el año hidrológico en el río Paraná (período que contiene la evolución completa de un ciclo hidrológico de creciente y estiaje, comenzando cuando el almacenamiento superficial y subterráneo se reducen al mínimo), se extiende desde septiembre de un año a agosto del año siguiente, también se definieron anomalías del caudal trimestral para los períodos definidos a partir del inicio del año hidrológico: Septiembre-Octubre-Noviembre (SON), Diciembre-Enero-Febrero (DEF), Marzo-Abril-Mayo (MAM) y Junio-Julio-Agosto (JJA). Con igual división de trimestres se definieron índices trimestrales de TSM para estudiar la relación entre la anomalías de caudal trimestral y los índices trimestrales de TSM correspondientes a 4 trimestres antecedentes.

La tabla 2.3 presenta el valor medio, la desviación estándar y los valores máximo y mínimo de estas anomalías trimestrales en el período 1950-01, y el diagrama de caja correspondiente se representa en la figura 2.8.

Los valores máximo y mínimo de anomalías de caudal trimestral ocurrieron en el trimestre SON de 1957 y EFM de 1945, respectivamente, mientras que la máxima y la mínima anomalía de TSM trimestral se verificaron ambas en el trimestre SON de 1996 y 1987 respectivamente.

Tabla 2.3

Estadísticos de las anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en 1950-2001(b)

	<i>AQ</i>	<i>A TSM</i>
Media	0.002	0.11
Desvío estándar	0.99	0.84
Máximo	3.88	3.45
Mínimo	-1.49	-1.48
Cuartil superior	0.41	0.54
Cuartil inferior	-0.69	-0.44

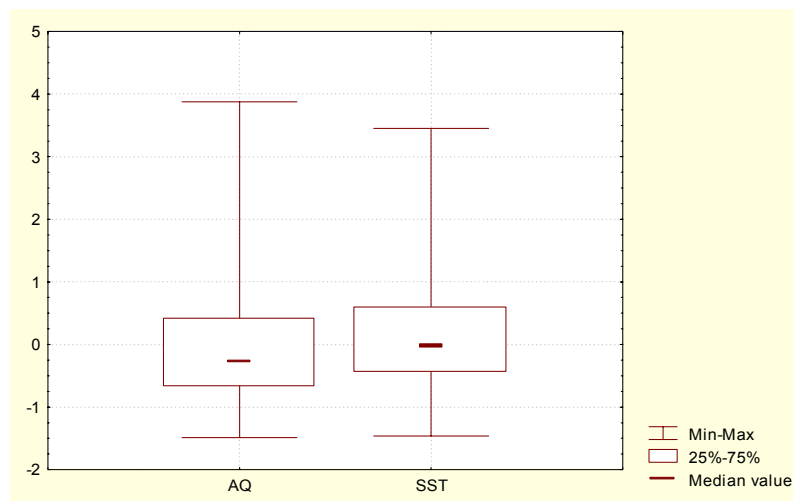


Figura 2.8 Anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en Niño3 en 1950-01(b)

Desagregando las series, en la tabla 2.4 se presentan los estadísticos básicos de anomalías de caudal trimestral considerando la división en trimestres del año civil. En la figura 2.9 se presentan los diagramas de caja correspondientes a estas series de valores trimestrales.

Los estadísticos descriptivos básicos de las series de anomalías de caudal trimestral, cuando se considera la división en trimestres basada en el ciclo hidrológico del río Paraná, se presentan en la tabla 2.5 y en la figura 2.10 se representa el diagrama de caja correspondiente a estas series de anomalías.

Tabla 2.4

Características de las anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en el período 1950-01(a)

<i>AQ</i>	<i>Media</i>	<i>Desvío estándar</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil Inferior</i>
EFM	0.01	1.01	-1.43	3.43	-0.73	0.50
AMJ	0.02	1.00	-1.17	3.31	-0.61	0.21
JAS	0.03	1.00	-1.03	3.82	-0.70	0.39
OND	0.07	1.00	-1.48	3.11	-0.73	0.66

<i>A TSM</i>	<i>Media</i>	<i>Desvío estándar</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil Inferior</i>
EFM	0.12	0.82	-1.10	2.820	-0.37	0.47
AMJ	0.13	0.64	-0.99	2.000	-0.35	0.59
JAS	0.10	0.85	-1.48	2.900	-0.47	0.59
OND	0.10	1.03	-1.43	3.523	-0.60	0.71

Tabla 2.5

Características de las anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral en el período 1950-01 (b)

<i>AQ</i>	<i>Media</i>	<i>Desvío estándar</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil Inferior</i>
DEF	0.00	0.99	-1.32	3.27	-0.67	0.43
MAM	-0.01	1.00	-1.16	3.35	-0.64	0.31
JJA	0.00	1.00	-1.15	3.78	-0.70	0.40
SON	0.02	1.02	-1.49	3.88	-0.69	0.56

<i>A TSM</i>	<i>Media</i>	<i>Desvío estándar</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil Inferior</i>
DEF	0.09	0.93	-1.20	3.19	-0.48	0.50
MAM	0.14	0.63	-0.72	2.28	-0.32	0.47
JJA	0.11	0.77	-1.45	2.47	-0.41	0.66
SON	0.09	0.99	-1.46	3.45	-0.57	0.61

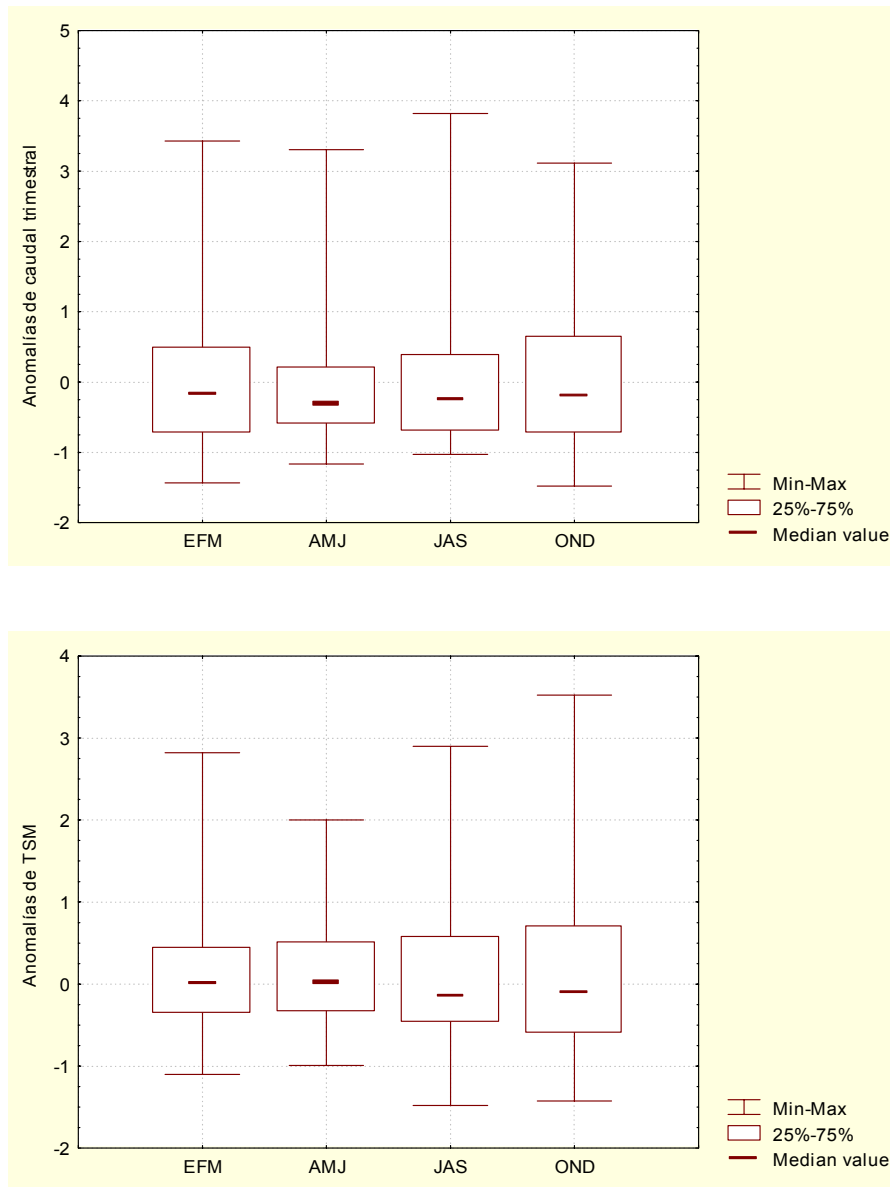


Figura 2.9 Diagramas de caja de anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral (a)

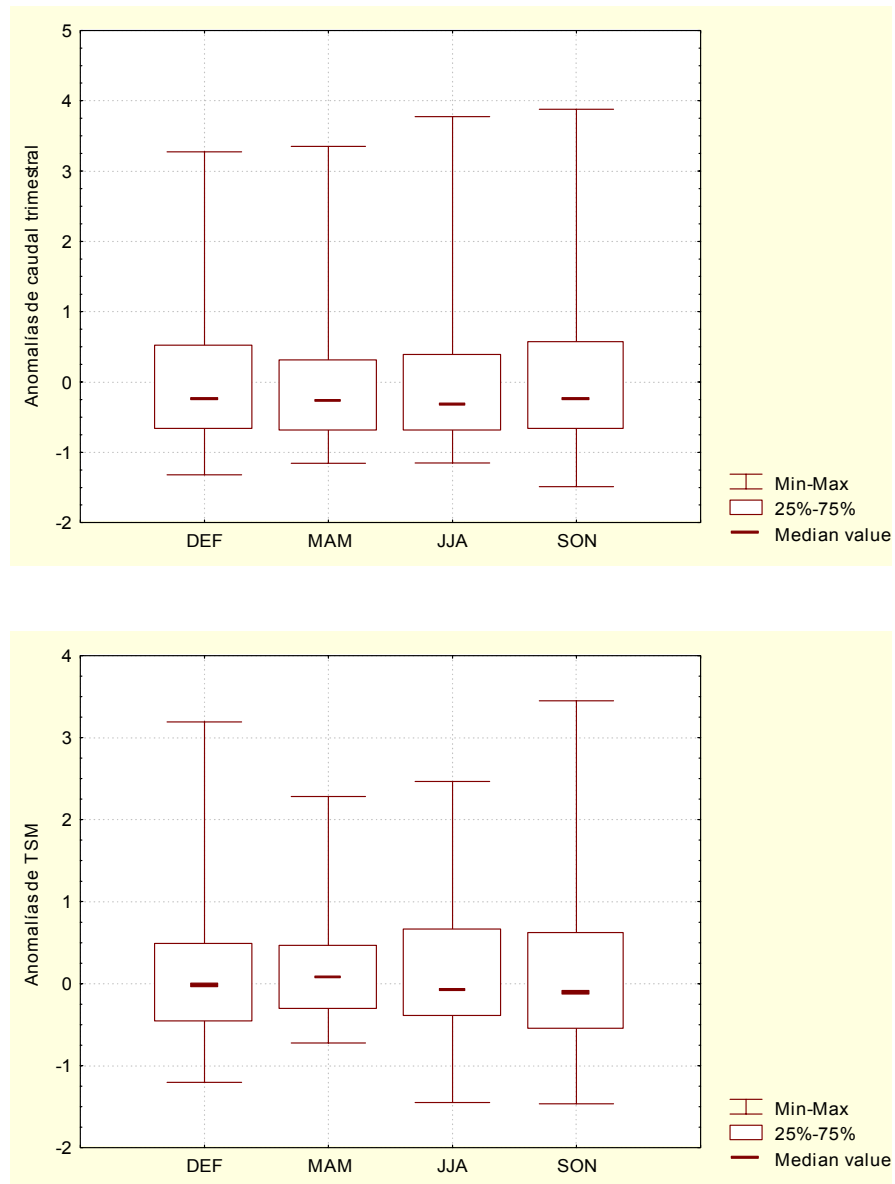


Figura 2.10 Diagramas de caja de anomalías de caudal trimestral y de TSM trimestral (b)

2.5 COMPLEMENTACION DE LA SERIE CLIMATICA

La necesidad de considerar las grandes crecidas ocurridas en las tres primeras décadas del siglo pasado (1904-1905, 1911-12, 1922-23, y 1928-29) obligó a utilizar como índice de

ENSO para el período 1902-1950 el propuesto por la Japan Meteorological Agency (JMA), una media móvil de 5 puntos de anomalías de TSM promediadas espacialmente en la región 4°S-4°N, 90°O -150°O (ftp://www.coaps.fsu.edu/pub/JMA_SST_Index/). Para el período 1949-2001 el índice de la JMA se basa en datos observados, mientras que para el período anterior el índice se basa en campos de TSM medios mensuales reconstruidos usando técnicas de proyección ortogonal.

La serie de valores mensuales del Índice de Oscilación del Sur (IOS) se extiende desde 1882 y ha sido filtrada a través de una media móvil de 5 puntos.

En las figuras 2.11 a 2.13 se presentan las series de valores mensuales de ambos índices del fenómeno ENSO, divididas en 3 grupos para facilitar su visualización. En general, las series temporales filtradas del IOS se corresponden muy bien con los cambios de temperatura oceánica a través del Pacífico tropical. Períodos prolongados de valores de IOS negativos coinciden con las aguas anormalmente cálidas del Pacífico tropical Este, típicas de episodios Niño, y prolongados períodos de valores positivos de IOS coinciden con aguas anormalmente frías del Pacífico tropical este, típicas de episodios la Niña.

Esto se advierte comparando las figuras 2.14 y 2.15, en las que se evidencian los períodos de intensas anomalías cálidas de TSM en 1905, 1931, 1972, 1987, 1982/83 y 1997/98 que se asocian a períodos de valores bajos del IOS e inversamente, los períodos de fuertes anomalías frías de TSM en 1917, 1942/43, 1950, 1953, 1973 y 1988 que se corresponden con valores altos del IOS.

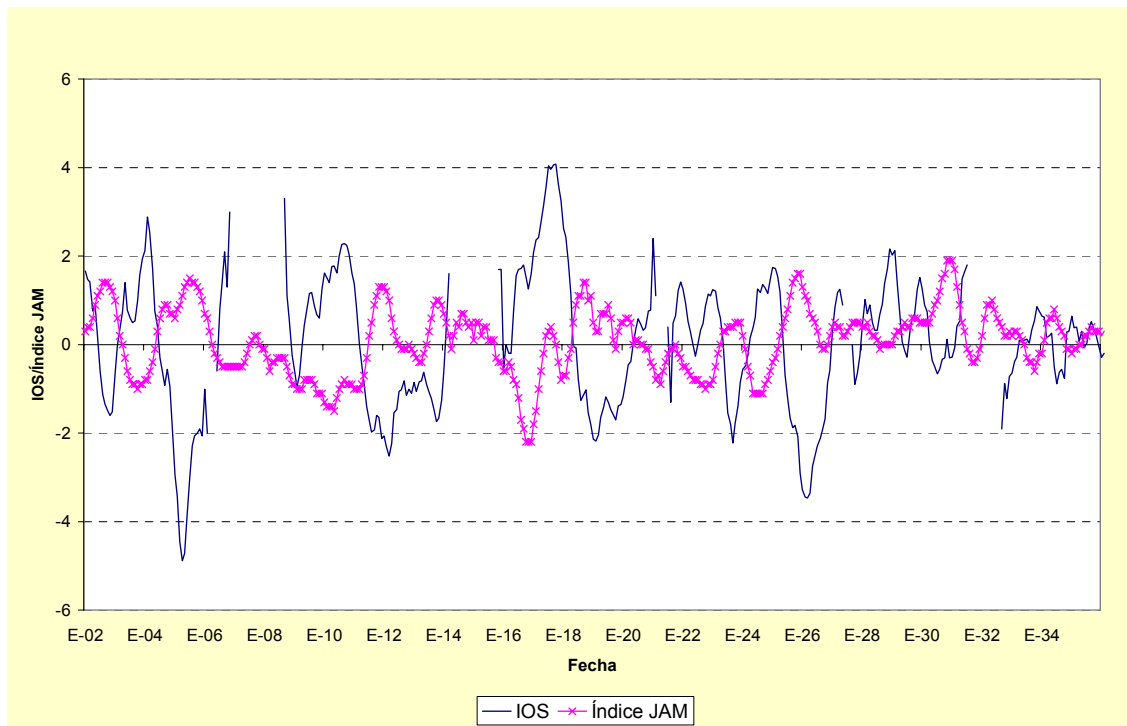


Figura 2.11 Índices de Enso en el período 1902-1935

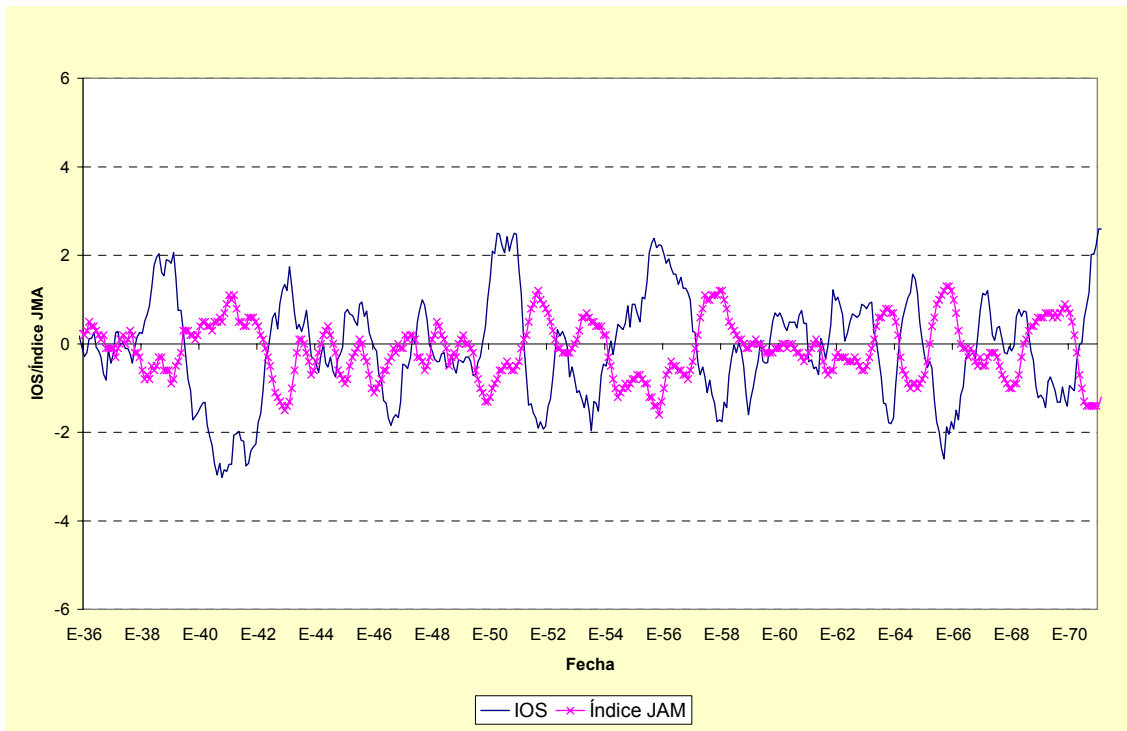


Figura 2.12 Índices de Enso en el período 1936-1970

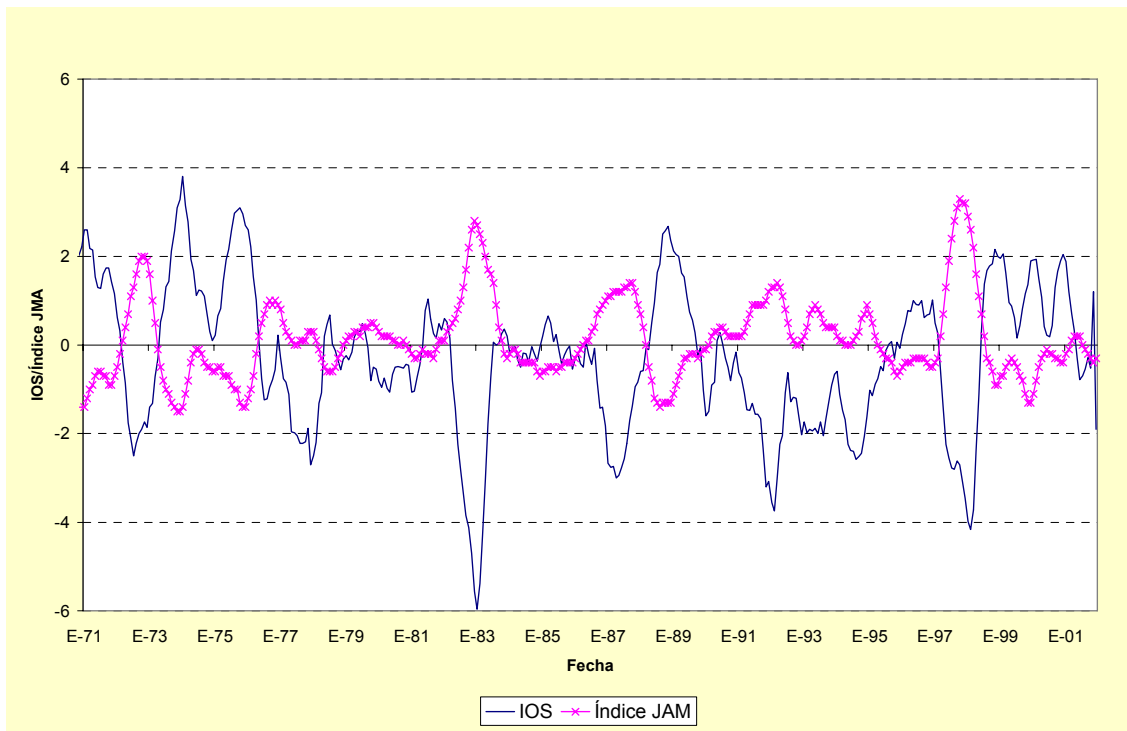


Figura 2.13 Índices de Enso en el período 1971-2001

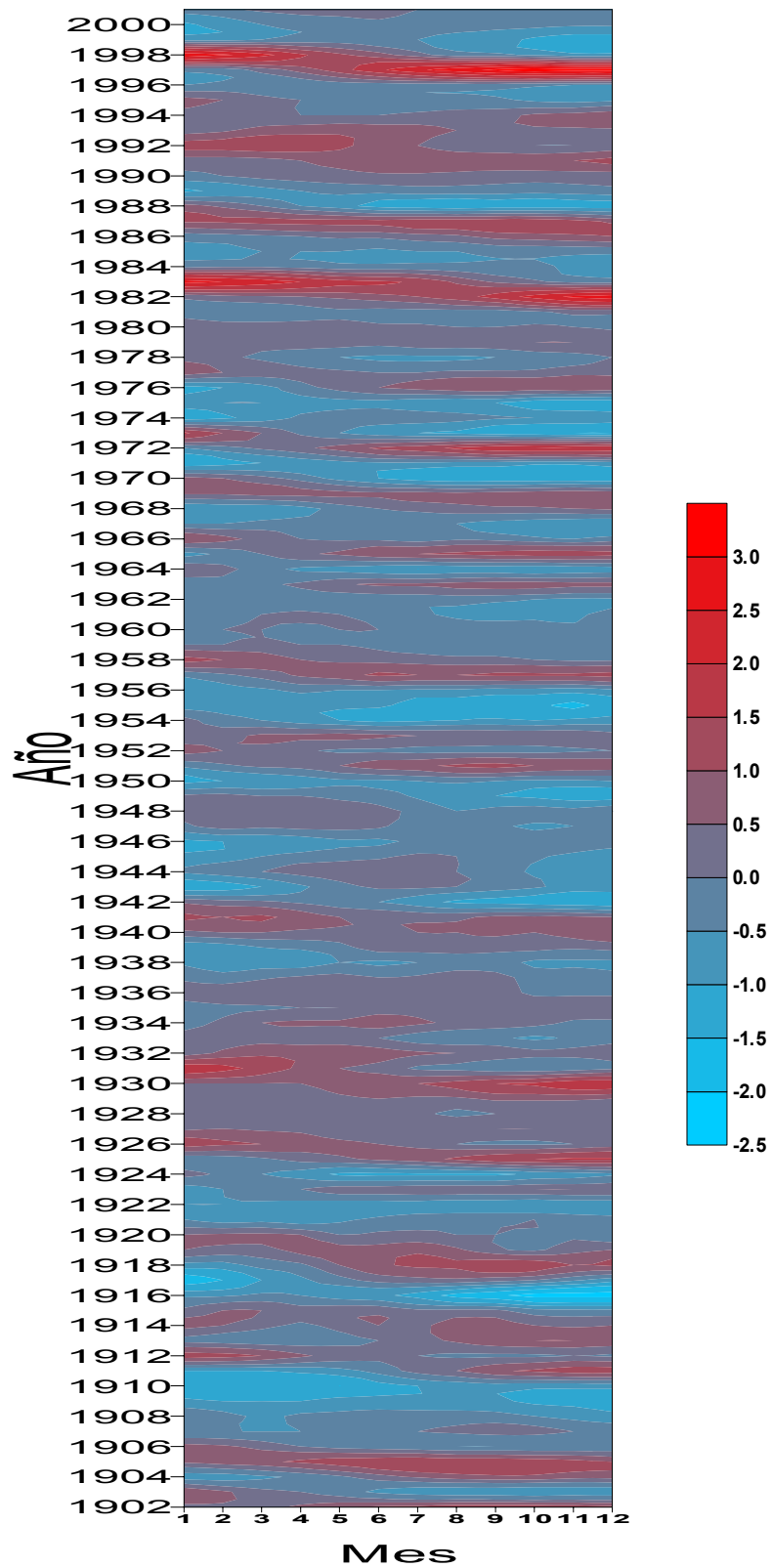


Figura 2.14 Índice JMA de ENSO en el período 1902-2001

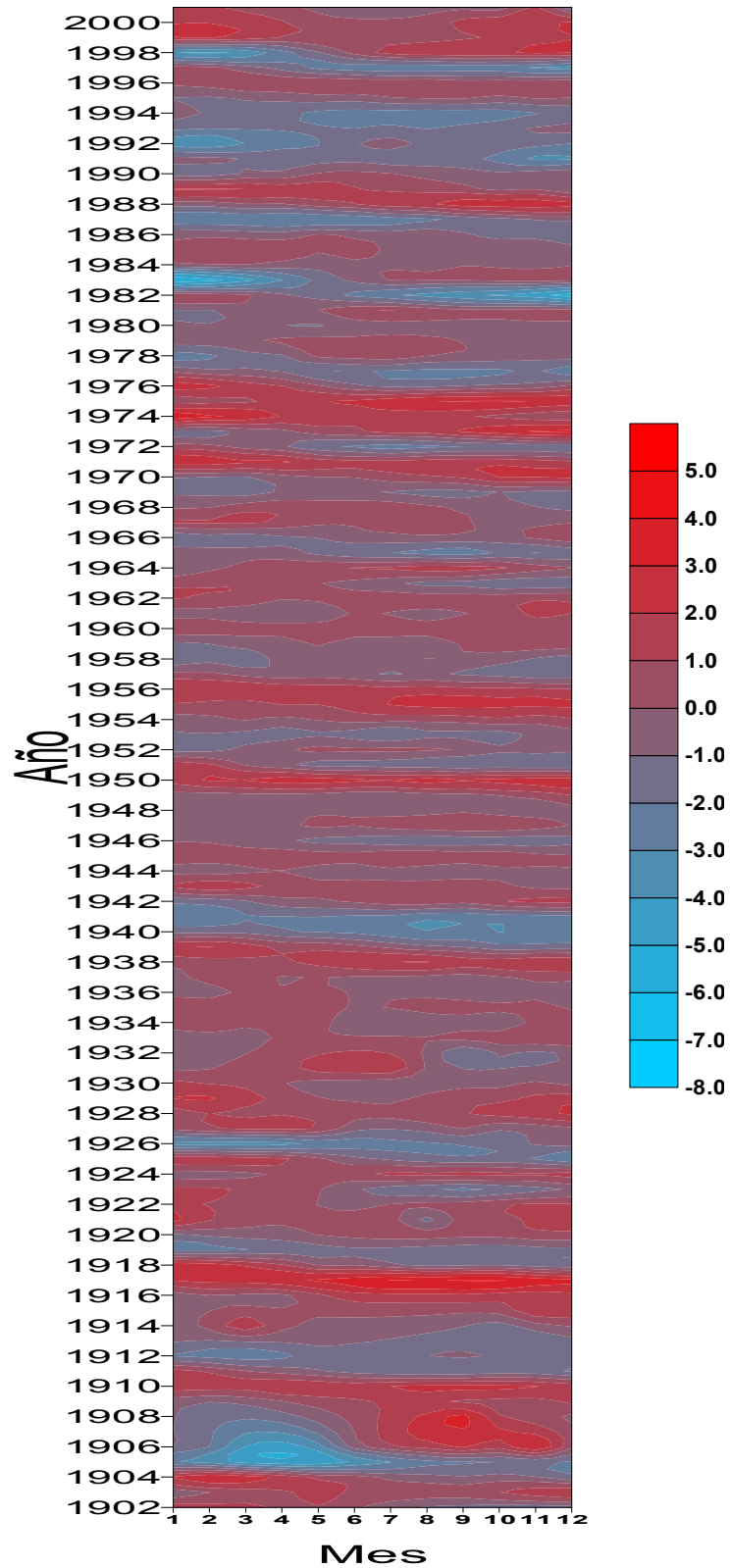


Figura 2.15 Índice IOS en el período 1902-2001

En la figura 2.16 se muestra el diagrama de caja correspondiente a ambos índices de ENSO y las medidas estadísticas descriptivas básicas en el período 1902-2001 se muestran en la tabla 2.6.

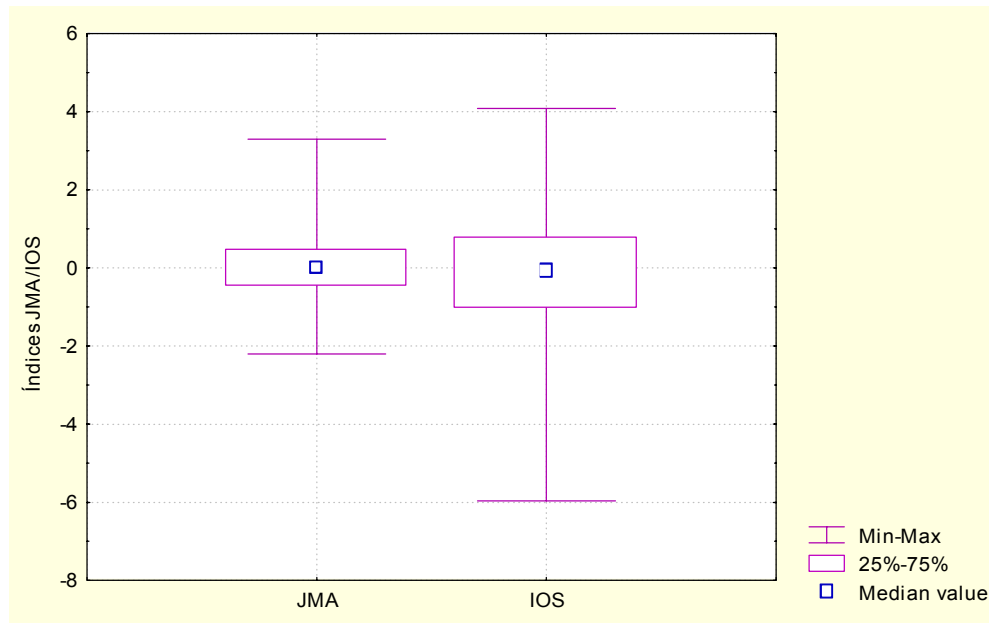


Figura 2.16 Diagramas de caja de los Índices JMA e IOS de ENSO en el período 1902-2001

Tabla 2.6
Estadísticos de los índices JMA e IOS en el período 1902-2001

	<i>JMA</i>	<i>IOS</i>
Media	0.02	0.14
Desvío estándar	0.76	1.45
Máximo	3.30	4.08
Mínimo	-2.20	-5.96
Cuartil superior	0.50	0.78
Cuartil inferior	-0.50	-1.08

Los valores mensuales máximo y mínimo del índice de temperatura de superficie del mar JMA se presentaron en Octubre de 1997 y Octubre, Noviembre y Diciembre de 1916, respectivamente, mientras que los valores máximo y mínimo del índice de oscilación del sur IOS se produjeron en Octubre de 1917 y Enero de 1983, respectivamente.

Sobre los valores de ambos índices se ha aplicado la técnica de onditas para analizar las diferentes escalas características de variabilidad temporal. Los resultados obtenidos, utilizando como ondita madre la ondita Morlet, se presentan a continuación.

En la figura 2.17 se muestra el espectro de potencia “wavelet” para la serie de valores mensuales del índice JMA en el período 1902-2001. Se observan zonas relativamente aisladas de alta intensidad que van disminuyendo su período. Esto se hace más evidente a partir de 1965, donde los mismos se ubican en la región de 2 a 4 años, ampliándose luego hasta alcanzar, casi a fines del año 2000, las escalas de 1 a 8 años, aproximadamente.

La banda que corresponde a períodos de 32 años y que se extiende desde 1910 hasta 1980, con máximos en 1910 –1960, también resulta significativa.

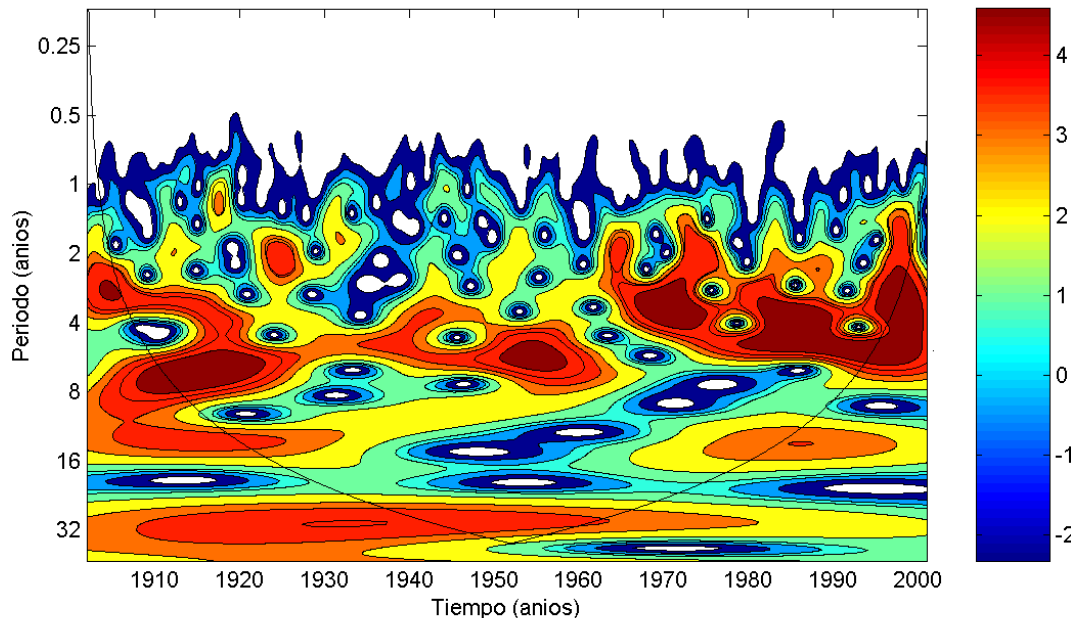


Figura 2.17 Espectro de potencia continuo del Índice JMA de anomalías de TSM 1902-2001

El espectro de potencia continua del índice IOS para el período 1902-2001 se presenta en la figura 2.18. Se observa a principios de siglo una actividad intensa, con periodicidades de 2 a 4 años, que se extiende hasta alrededor de 1930. Con intensidad similar se evidencian oscilaciones con períodos de alrededor de 8 años y que luego, aumentando su intensidad hasta alcanzar los valores máximos seculares, acortan la misma a una región que abarca hasta 6 años.

En la región correspondiente a fines de los años 20, y extendiéndose hasta fines de los 30, sólo se nota actividad relativamente intensa con oscilaciones de 8 años. Aproximadamente en 1937 se aprecia un nuevo patrón de oscilación que se caracteriza por períodos de 4 a 8

años hasta que, comenzando en 1943 y en una región de periodicidad de menor ancho, se extiende hasta aproximadamente el año 1960.

Desde poco antes de 1970 se advierten dos zonas con alta intensidad. Una con período de entre 8 y 16 años, aproximadamente, que se prolonga hasta fin del año 2000, alcanzando una intensidad máxima en la década 1980-1990. Otra en la escala de 2 a 4 años.

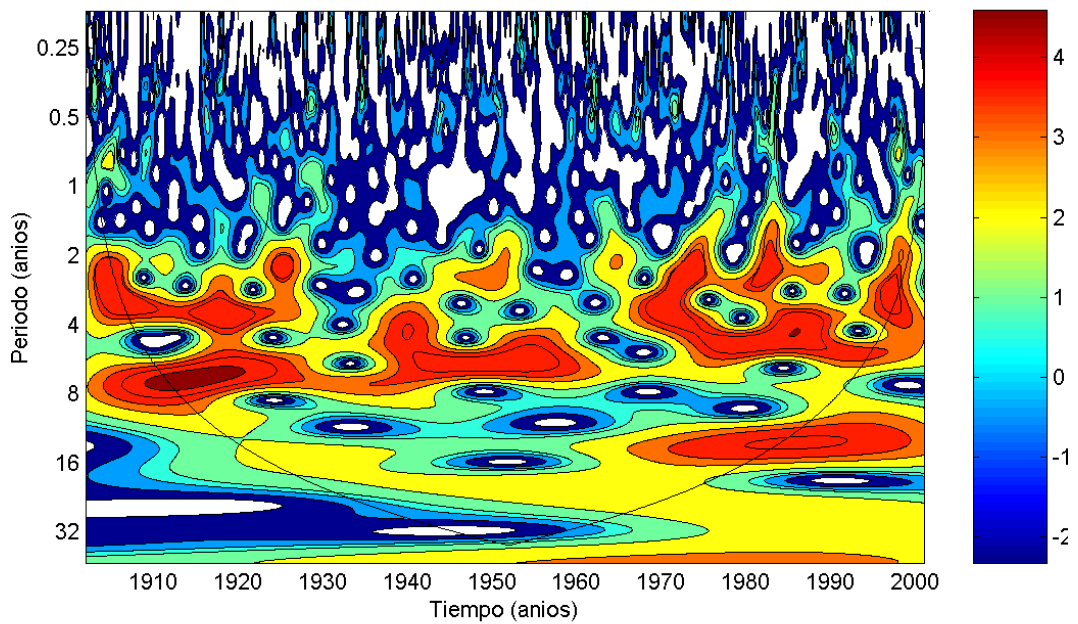


Figura 2.18 Espectro de potencia continuo del Índice IOS normalizado 1902-2001

3 ASOCIACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE ENSO Y CAUDAL DEL RÍO PARANÁ

3.1 CORRELACIÓN ENTRE ANOMALÍAS DE CAUDAL Y DE TSM

Para identificar las asociaciones significativas entre las anomalías del caudal medio mensual del río Paraná y de TSM en el período 1950-2001, las series de valores mensuales fueron sometidas a un análisis estadístico.

Se calcularon los coeficientes de correlación lineal (Coeficiente de Pearson r) para identificar el tiempo de retardo ("lag") entre las anomalías de TSM y de caudal medio mensual considerándose la secuencia de anomalías de TSM de 12 meses antecedentes. Los valores obtenidos, que constituyen una medida del grado en que las variables son proporcionales entre sí, se representan en la figura 3.1 e indican que el retardo entre anomalías mensuales parece ser de entre 4 y 5 meses ($r = 0.45$ y $r = 0.44$, respectivamente).

El coeficiente de correlación r decrece a partir del máximo, conservándose siempre positivo y con valores relativamente altos (valores con un nivel de significancia $p < 0.05$, que representa la probabilidad de error involucrada en aceptar el resultado observado como válido).

Las asociaciones estacionales entre anomalías se estudiaron considerando la anomalía de caudal estacional para los períodos Enero-Febrero-Marzo (EFM), Abril-Mayo-Junio (AMJ), Julio-Agosto-Septiembre (JAS) y Octubre-Noviembre-Diciembre (OND), agrupados por trimestre del año calendario (a), y los índices trimestrales de anomalías de TSM en Niño 3 para los mismos trimestres.

A estas series se les aplicó el análisis de correlación que se resume en la figura 3.2. La serie de anomalías de caudal trimestral se asoció a las anomalías trimestrales de TSM cubriendo una secuencia de 4 trimestres antecedentes. Se advierte que el tiempo de retardo entre anomalías trimestrales resulta de entre 1 y 2 trimestres ($r = 0.48$ y $r = 0.46$, respectivamente).

Cuando se aplica el mismo análisis a las anomalías de caudal trimestral definiendo los trimestres a partir del mes de inicio del ciclo hidrológico (b) y a los índices trimestrales de TSM (SON, DEF, MAM y JJA) correspondientes a 4 trimestres antecedentes, se obtienen los valores del coeficiente de regresión lineal entre anomalías y el tiempo de retardo asociado a estas regresiones que se representa en la figura 3.3. Se obtiene un valor máximo del coeficiente r de Pearson para un tiempo de retardo de 1 trimestre ($r = 0.47$).

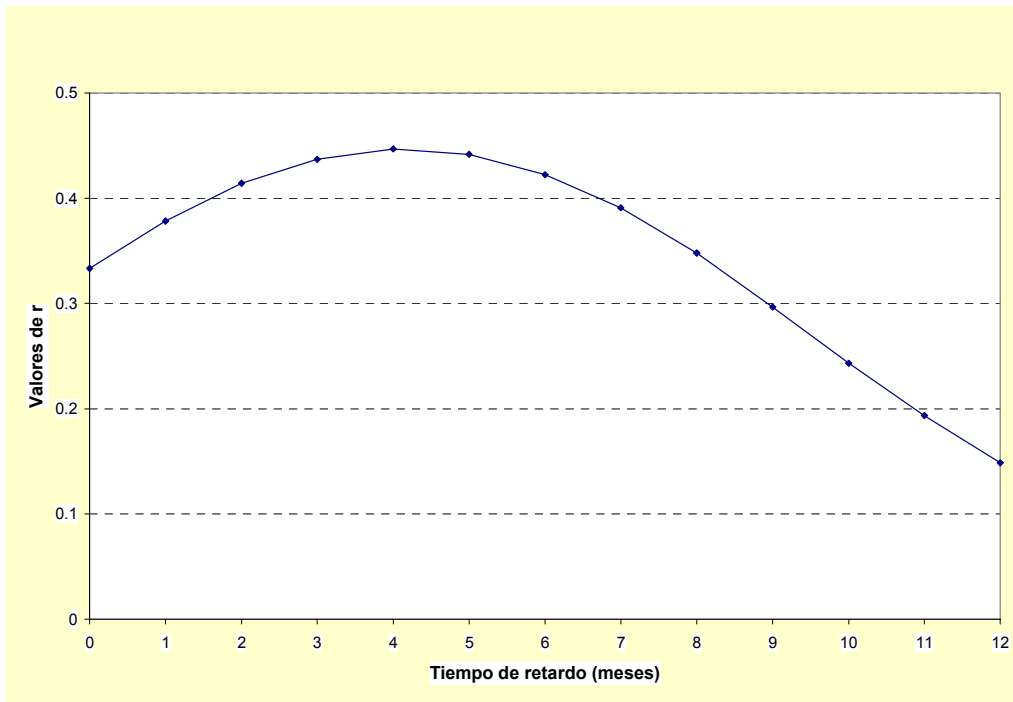


Figura 3.1 Coeficiente de correlación entre anomalías de caudal medio mensual en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 (1950-2001)

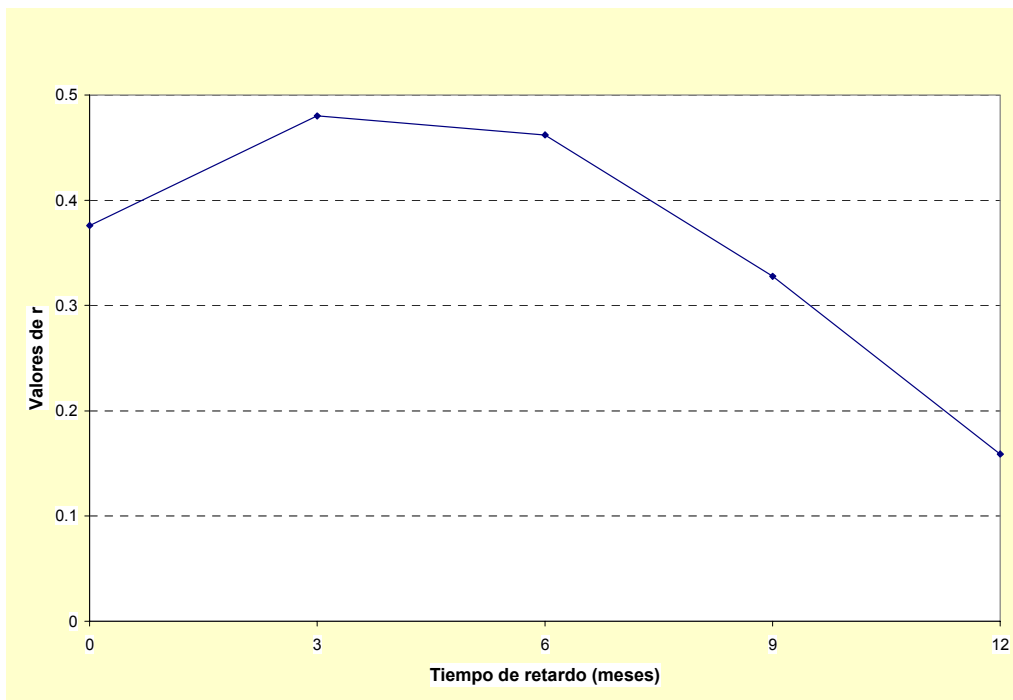


Figura 3.2 Coeficiente de correlación entre anomalías de caudal medio trimestral en Paraná (a) y anomalías trimestrales de TSM en Niño 3 (1950-2001)

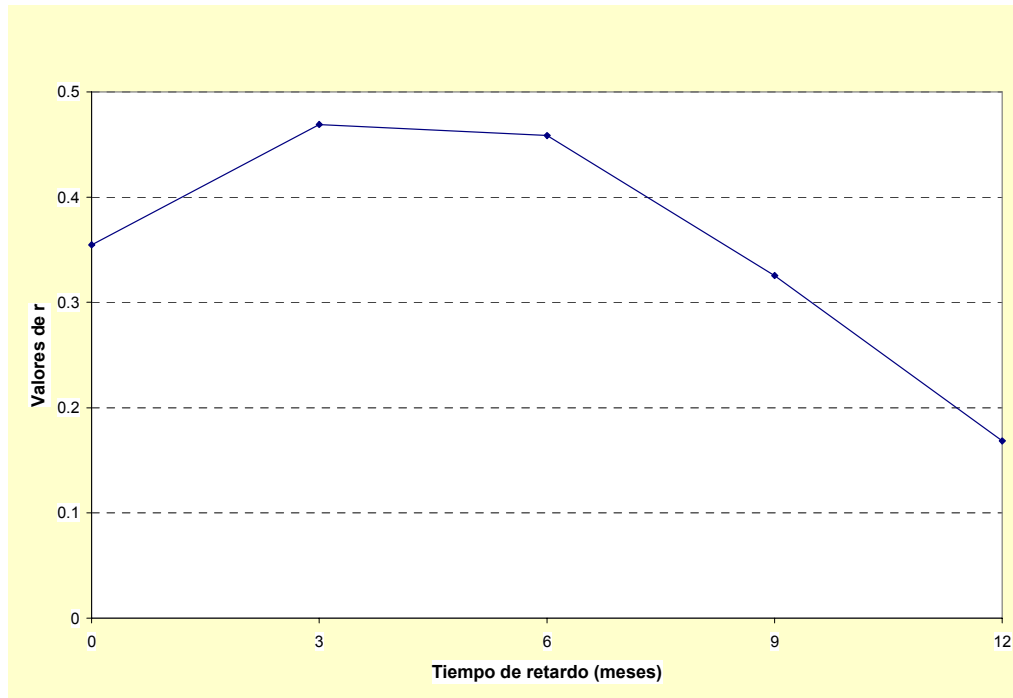


Figura 3.3 Coeficiente de correlación entre anomalías de caudal medio trimestral en Paraná (b) y anomalías de TSM en Niño 3 (1950-2001)

Los análisis anteriores permiten definir tiempos de retardo de entre 3 y 5 meses en las regresiones de anomalías de TSM en Niño 3 y de caudal en Paraná. Sin embargo, los valores del coeficiente r son relativamente bajos, indicando la necesidad de desagregar el análisis para definir la existencia de períodos en los que la vinculación entre anomalías resulte más significativa.

Por esta razón se calcularon los coeficientes de correlación lineal para las 12 series anuales de valores mensuales de anomalías de caudal y de anomalías de TSM para 10 meses, considerando 9 meses antecedentes y el mes de la anomalía de caudal en análisis.

La tabla 3.1 presenta los valores del coeficiente de Pearson r obtenidos para distintos subperíodos: 1950-1970, 1970-2001 y 1950-2001. Esta distinción dentro del período de análisis, se explica en la necesidad de establecer si existe una vinculación diferente entre el caudal y la TSM en el ciclo de características hiperhúmedas iniciado en la década del 70.

Tabla 3.1

Valores del coeficiente *r* de Pearson en las regresiones de anomalías de caudal medio mensual y anomalías de TSM en Niño3

A TSM	Enero				Febrero				Marzo				
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período			
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01	
D													
N													
O													
S													
A													
J													
J													
M													
A													
M													
F									0	0.15	0.54	0.41	
E	0	0.09	0.69	0.49	0	-0.07	0.50	0.32	1	0.21	0.55	0.43	
D	1	0.03	0.68	0.47	2	-0.11	0.50	0.31	2	0.21	0.56	0.43	
N	2	0.01	0.67	0.45	3	-0.14	0.52	0.31	3	0.27	0.56	0.45	
O	3	0.01	0.67	0.44	4	-0.13	0.52	0.31	4	0.27	0.55	0.45	
S	4	0.01	0.66	0.43	5	-0.12	0.50	0.29	5	0.28	0.52	0.43	
A	5	0.05	0.65	0.44	6	-0.08	0.49	0.30	6	0.30	0.48	0.41	
J	6	0.08	0.64	0.44	7	-0.05	0.46	0.29	7	0.32	0.44	0.39	
J	7	0.14	0.60	0.44	8	0.01	0.41	0.27	8	0.31	0.38	0.35	
M	8	0.20	0.54	0.42	9	0.08	0.35	0.25	9	0.31	0.30	0.30	
A	9	0.25	0.43	0.36									

A TSM	Abril				Mayo				Junio				
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período			
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01	
D													
N													
O													
S													
A													
J													
J													
M													
A													
M													
F													
E													
D													
N													
O													
S													
A													
J													
J													
M													
A													
M									0	0.12	0.39	0.29	
F	0	0.19	0.55	0.42	1	0.22	0.60	0.46	1	0.17	0.56	0.41	
E	1	0.09	0.65	0.46	2	0.13	0.70	0.51	2	0.21	0.69	0.52	
D	2	0.03	0.67	0.46	3	0.06	0.71	0.51	3	0.08	0.75	0.53	
N	3	-0.03	0.66	0.44	4	-0.01	0.69	0.46	4	-0.06	0.71	0.47	
O	4	0.02	0.66	0.46	5	-0.03	0.68	0.46	5	-0.14	0.66	0.41	
S	5	0.01	0.64	0.43	6	-0.04	0.66	0.43	6	-0.23	0.63	0.37	
A	6	0.02	0.61	0.41	7	-0.02	0.64	0.42	7	-0.22	0.59	0.32	
J	7	0.04	0.57	0.39	8	0.00	0.61	0.40	8	-0.22	0.56	0.30	
J	8	0.04	0.52	0.36	9	0.01	0.57	0.38	9	-0.19	0.53	0.29	
M	9	0.01	0.45	0.30									
A													

Año 0		Año -1	
-------	--	--------	--

Tabla 3.1 (continuación)

Valores del coeficiente r de Pearson en las regresiones de anomalías de caudal medio mensual y anomalías de TSM en Niño3

A TSM	Julio				Agosto				Septiembre					
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período				
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		
D														
N														
O														
S														
A					0	0.03	0.36	0.24	0	0.14	0.20	0.17		
J	0	-0.11	0.36	0.18	1	0.06	0.45	0.31	1	0.16	0.24	0.20		
J	1	-0.09	0.47	0.26	2	0.08	0.51	0.36	2	0.19	0.33	0.27		
M	2	-0.04	0.59	0.36	3	0.09	0.59	0.42	3	0.23	0.41	0.33		
A	3	0.01	0.69	0.45	4	0.10	0.64	0.46	4	0.23	0.49	0.38		
M	4	-0.08	0.70	0.45	5	-0.05	0.61	0.42	5	0.22	0.58	0.44		
F	5	-0.18	0.65	0.39	6	-0.18	0.56	0.34	6	0.05	0.60	0.41		
E	6	-0.21	0.61	0.34	7	-0.24	0.51	0.29	7	-0.10	0.57	0.35		
D	7	-0.28	0.58	0.31	8	-0.35	0.49	0.25	8	-0.20	0.52	0.28		
N	8	-0.27	0.54	0.27	9	-0.37	0.45	0.20	9	-0.33	0.50	0.24		
O	9	-0.28	0.50	0.24										
S														
A														
J														
J														
M														
A														

A TSM	Octubre				Noviembre				Diciembre					
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período				
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		
D														
N														
O					0	0.62	0.26	0.36	0	0.62	0.65	0.62		
S	0	0.33	0.11	0.18	1	0.61	0.31	0.40	1	0.62	0.66	0.63		
A	1	0.30	0.15	0.20	2	0.59	0.36	0.42	2	0.62	0.68	0.64		
J	2	0.31	0.21	0.24	3	0.61	0.42	0.46	3	0.61	0.68	0.64		
J	3	0.35	0.32	0.32	4	0.65	0.50	0.53	4	0.65	0.69	0.65		
M	4	0.40	0.42	0.40	5	0.67	0.59	0.59	5	0.69	0.70	0.67		
A	5	0.43	0.50	0.46	6	0.71	0.63	0.63	6	0.74	0.69	0.68		
M	6	0.43	0.59	0.51	7	0.66	0.65	0.62	7	0.80	0.65	0.66		
F	7	0.31	0.58	0.47	8	0.51	0.58	0.53	8	0.75	0.56	0.58		
E	8	0.15	0.52	0.39	9	0.27	0.47	0.40	9	0.61	0.41	0.44		
D	9	0.05	0.45	0.31										
N														
O														
S														
A														
J														
J														
M														
A														

Año 0		Año -1	
-------	--	--------	--

Se advierte que, durante el período 1950-70, los valores de r son bajos, inferiores a 0,30, excepto para Noviembre y Diciembre, cuando alcanza un máximo de 0.80, con retardo de 6

y 7 meses, respectivamente (anomalía de TSM de Mayo). Por otro lado, en el período 1970-2001 los valores de r son sensiblemente superiores (excepto en Noviembre y Diciembre), con el valor máximo de $r = 0,75$ en Junio, vinculado a la anomalía de TSM de Marzo (retardo=3 meses).

Cuando se considera el período total (1950-2001), se observa que el mejor coeficiente r se experimenta para la anomalía de caudal de diciembre, que alcanza un valor de 0,68 cuando se la relaciona con la anomalía de TSM de Junio.

La tabla 3.2 resume los períodos de antecedencia de anomalías de TSM respecto a las caudal obtenidos para los valores máximos del coeficiente r . Estos valores se presentan en la figura 3.4, en la que también se grafica la evolución anual del tiempo de retardo entre anomalías mensuales de TSM y caudal medio mensual.

Tabla 3.2

Tiempos de retardo (meses) en las regresiones de anomalías de caudal medio mensual y anomalías de TSM en Niño3

Anomalía de Q medio mensual	1950-70		1970-01		1950-01	
	Retardo (meses)	Antecedencia (meses)	Retardo (meses)	Antecedencia (meses)	Retardo (meses)	Antecedencia (meses)
ENERO	9	Abr(-1)	0	Ene(0)	0	Ene(0)
FEBRERO	3	May(-1)	2	Dic(0)	2	Dic(0)
MARZO	9	Jun(-1)	3	Dic(0)	3	Dic(0)
ABRIL	0	Abr(0)	2	Feb(0)	2	Feb(0)
MAYO	1	Abr(0)	2	Feb(0)	2	Feb(0)
JUNIO	6	Abr(0)	3	Mar(0)	3	Mar(0)
JULIO	9	Oct(-1)	4	Mar(0)	3	Abr(0)
AGOSTO	9	Nov(-1)	4	Abr(0)	4	Abr(0)
SEPTIEMBRE	9	Dic(-1)	6	Mar(0)	5	Abr(0)
OCTUBRE	6	Abr(0)	6	Abr(0)	6	Abr(0)
NOVIEMBRE	6	May(0)	7	Abr(0)	6	May(0)
DICIEMBRE	7	May(0)	5	Jul(0)	6	Jun(0)

Nota: Entre paréntesis se indica si corresponde al año anterior (-1) o al mismo año (0)

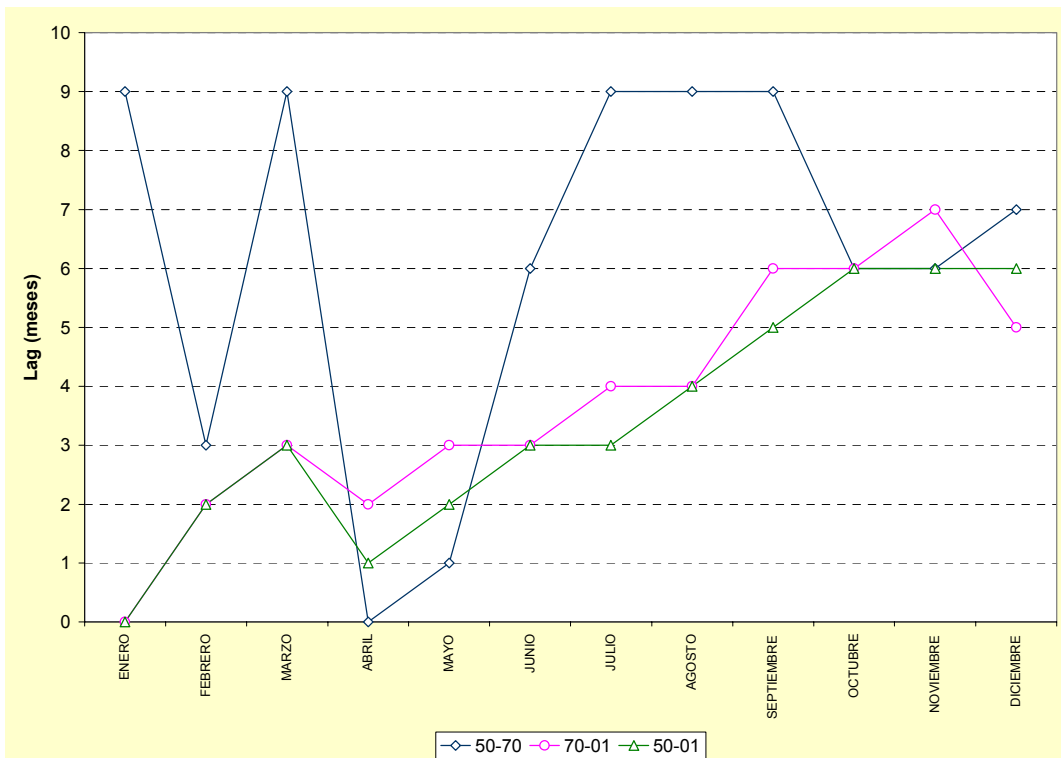
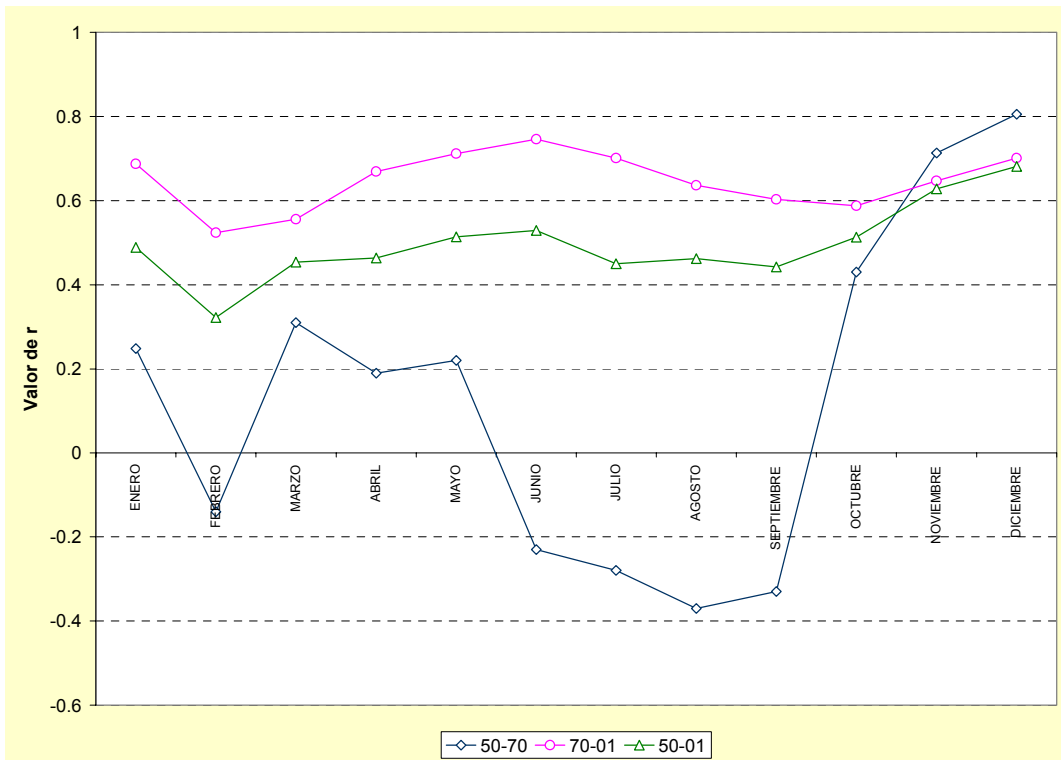


Figura 3.4 Coeficientes de correlación y tiempos de retardo entre anomalías de caudal medio mensual en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3

Se realizó el análisis de contingencia categórica de eventos entre anomalías de caudal medio mensual y anomalías de TSM para los meses con mayor coeficiente r en los subperíodos 1950-2001 y 1970-2001. Para ello, ambas series fueron ordenadas y divididas en 3 categorías identificadas de aquí en adelante como anomalías sobre la normal, normal y bajo la normal, respectivamente (AQb , AQn , AQs).

La categorización de anomalías de caudal responde a las definidas por los caudales alto y bajo para cada período, aquí considerados los correspondientes al tercer y primer cuartil, mientras que las anomalías de TSM fueron categorizadas mediante los umbrales ± 0.5 °C que definen eventos cálidos, neutros y fríos de ENSO ($ATSMb$, $ATSM$, $ATSMs$).

En la tabla 3.3 se observa que en el período 1950-2001 existe una relación definida entre anomalías de caudal del mes de diciembre con la TSM de Junio, ubicándose el 58% de los casos en la diagonal principal. Se observa también que no se registra ningún caso en que las anomalías de TSM por debajo de $-0,5$ se hayan asociado a anomalías de caudal sobre la normal y sólo en una oportunidad una anomalía de TSM superior a $0,5$ se asocia a una anomalía de caudal bajo la normal.

Tabla 3.3

Contingencia categórica de anomalías de caudal medio de Diciembre del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Junio (1950-2001)

<i>Anomalías de caudal de Diciembre</i>	<i>Anomalías de TSM en Junio</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	8	7	1	16
Total	15.38%	13.46%	1.92%	30.77%
<i>AQn</i>	2	12	4	18
Total	3.85%	23.08%	7.69%	34.62%
<i>AQs</i>	0	8	10	18
Total %	0.00%	15.38%	19.23%	34.62%
<i>Total casos</i>	10	27	15	52
Total	19.23%	51.92%	28.85%	

En el período 1970-01 (tabla 3.4) el acierto categórico alcanza un 46% para la vinculación entre anomalías de caudal de Junio y anomalías de TSM del mes de Marzo. Se advierte que no se registra ningún caso en que las anomalías de TSM por encima de $0,5$ se haya asociado a anomalías de caudal bajo la normal y sólo en una oportunidad una TSM inferior a $-0,5$ se asocia a una anomalía de caudal sobre la normal.

Tabla 3.4

Contingencia categórica de anomalías de caudal medio de Junio del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Marzo (1970-2001)

<i>Anomalías de caudal de Junio</i>	<i>Anomalías de TSM en Marzo</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	0	5	0	5
Total	0.00%	16.13%	0.00%	16.13%
<i>AQn</i>	5	12	2	19
Total	16.13%	38.71%	6.45%	61.29%
<i>AQs</i>	1	2	4	7
Total %	3.23%	6.45%	12.90%	22.58%
Total casos	6	19	6	31
Total	19.35%	61.29%	19.35%	

Ya que los valores de anomalías de TSM están filtrados a través de una media móvil de 5 puntos, para reducir ruidos y filtrar fluctuaciones de corto plazo, con el mismo criterio se utilizó una media móvil de 3 puntos para obtener nuevas series mensuales de anomalías de caudal. Sobre estas series se efectuó el mismo análisis de regresión lineal considerando las asociaciones entre anomalías de caudal y de TSM de 9 meses antecedentes.

Los valores del coeficiente r de Pearson se detallan en la tabla 3.5 para las regresiones de anomalías filtradas de caudal mensual y anomalías de TSM mensual para cada uno de los sub-períodos.

En las correlaciones mensuales se advierte que siempre la correlación entre anomalías de caudal mensual y TSM mensual es mayor en el período 70-01, seguida por las del período completo (50-01). La única excepción se da en el mes de noviembre, que tiene mayor coeficiente de correlación lineal en el período 50-70. En este período los coeficientes r son en general bajos ($<0,5$), sólo significativos para la relación entre anomalías de caudal de noviembre y diciembre. En mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre son incluso negativas. En promedio, los coeficientes en el período 1950-01 son 30% inferiores a los del período 1970-01. El máximo valor del coeficiente de Pearson para el período completo de análisis se encuentra en la regresión lineal de anomalías filtradas de caudal de noviembre y la anomalía de TSM de Mayo, con un valor de 0,57.

La figura 3.5 presenta los tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías filtradas de caudal medio mensual y anomalías de TSM mensual en Niño 3, para cada uno de los subperíodos analizados. Los mismos valores se indican en la tabla 3.6.

Se advierte que en todos los subperíodos analizados las anomalías de caudal de los cuatro últimos meses del año se vinculan con la anomalías de TSM de los meses de otoño, Abril o Mayo.

Tabla 3.5

Valores del coeficiente *r* de Pearson en las regresiones de anomalías filtradas de caudal medio mensual y anomalías de TSM en Niño3

A TSM	Enero				Febrero				Marzo			
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período		
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01
D												
N												
O												
S												
A												
J												
J												
M												
A												
M												
F					0	0.10	0.62	0.45	0	0.10	0.63	0.45
E	0	0.23	0.67	0.53	1	0.08	0.61	0.44	1	0.07	0.64	0.46
D	1	0.18	0.67	0.52	2	0.07	0.63	0.45	2	0.03	0.65	0.45
N	2	0.17	0.67	0.51	3	0.06	0.62	0.44	3	0.06	0.65	0.46
O	3	0.17	0.67	0.51	4	0.07	0.61	0.43	4	0.06	0.64	0.44
S	4	0.17	0.66	0.50	5	0.08	0.58	0.41	5	-0.07	0.61	0.43
A	5	0.21	0.66	0.52	6	0.11	0.56	0.41	6	0.09	0.58	0.41
J	6	0.26	0.65	0.52	7	0.13	0.53	0.39	7	0.11	0.53	0.39
J	7	0.33	0.62	0.52	8	0.17	0.47	0.37	8	0.11	0.48	0.35
M	8	0.41	0.56	0.50	9	0.23	0.40	0.33	9	0.12	0.40	0.30
A	9	0.44	0.46	0.43								

A TSM	Abril				Mayo				Junio			
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período		
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01
D												
N												
O												
S												
A												
J												
J												
M												
A												
M												
F												
E												
D												
N												
O												
S												
A												
J												
J									0	0.07	0.40	0.28
M									1	0.12	0.56	0.41
A	0	0.19	0.62	0.46	1	0.23	0.66	0.51	2	0.17	0.70	0.52
M	1	0.13	0.70	0.51	2	0.11	0.75	0.55	3	0.05	0.76	0.54
F	2	0.11	0.71	0.51	3	0.01	0.75	0.52	4	-0.07	0.74	0.50
E	3	0.06	0.71	0.49	4	-0.06	0.73	0.48	5	-0.14	0.70	0.44
D	4	0.10	0.70	0.50	5	-0.09	0.71	0.47	6	-0.20	0.67	0.41
N	5	0.09	0.69	0.48	6	-0.09	0.68	0.43	7	-0.20	0.64	0.37
O	6	0.11	0.66	0.46	7	-0.08	0.65	0.41	8	-0.20	0.60	0.35
S	7	0.12	0.62	0.44	8	-0.05	0.62	0.39	9	-0.17	0.57	0.33
A	8	0.13	0.56	0.41	9	-0.06	0.57	0.36				
J	9	0.11	0.49	0.36								
J												
M												
A												

Año 0		Año -1	
-------	--	--------	--

Tabla 3.5 (continuación)

Valores del coeficiente r de Pearson en las regresiones de anomalías filtradas de caudal medio mensual y anomalías de TSM en Niño3

A TSM	Julio				Agosto				Septiembre			
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período		
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01
D												
N												
O												
S												
A									0	0.17	0.23	0.20
J	0	0.01	0.37	0.24	0	0.02	0.30	0.20	1	0.19	0.29	0.25
J	1	0.04	0.48	0.32	1	0.05	0.41	0.28	2	0.22	0.40	0.32
M	2	0.08	0.61	0.42	2	0.08	0.50	0.35	3	0.26	0.49	0.40
A	3	0.11	0.71	0.51	3	0.10	0.60	0.42	4	0.28	0.57	0.46
M	4	-0.01	0.72	0.49	4	0.12	0.68	0.49	5	0.27	0.66	0.51
F	5	-0.15	0.68	0.43	5	-0.03	0.69	0.46	6	0.12	0.65	0.47
E	6	-0.21	0.63	0.37	6	-0.17	0.64	0.39	7	-0.04	0.60	0.39
D	7	-0.30	0.60	0.33	7	-0.24	0.59	0.33	8	-0.14	0.54	0.32
N	8	-0.31	0.56	0.28	8	-0.35	0.56	0.29	9	-0.27	0.51	0.27
O	9	-0.30	0.51	0.25	9	-0.37	0.53	0.24				
S												
A												
J												
J												
M												
A												

A TSM	Octubre				Noviembre				Diciembre			
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período		
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01
D												
N												
O					0	0.61	0.37	0.43	0	0.44	0.48	0.45
S	0	0.41	0.22	0.18	1	0.60	0.42	0.46	1	0.43	0.50	0.46
A	1	0.38	0.26	0.20	2	0.58	0.45	0.48	2	0.43	0.53	0.48
J	2	0.40	0.31	0.24	3	0.61	0.50	0.52	3	0.41	0.56	0.50
J	3	0.44	0.42	0.32	4	0.66	0.58	0.58	4	0.44	0.60	0.53
M	4	0.48	0.51	0.40	5	0.70	0.65	0.64	5	0.49	0.66	0.58
A	5	0.51	0.59	0.46	6	0.75	0.68	0.67	6	0.54	0.71	0.63
M	6	0.48	0.66	0.51	7	0.71	0.68	0.66	7	0.61	0.73	0.66
F	7	0.31	0.64	0.47	8	0.55	0.60	0.55	8	0.61	0.71	0.65
E	8	0.11	0.56	0.39	9	0.30	0.49	0.41	9	0.54	0.61	0.57
D	9	-0.02	0.49	0.31								
N												
O												
S												
A												
J												
J												
M												
A												

Año 0		Año -1	
-------	--	--------	--

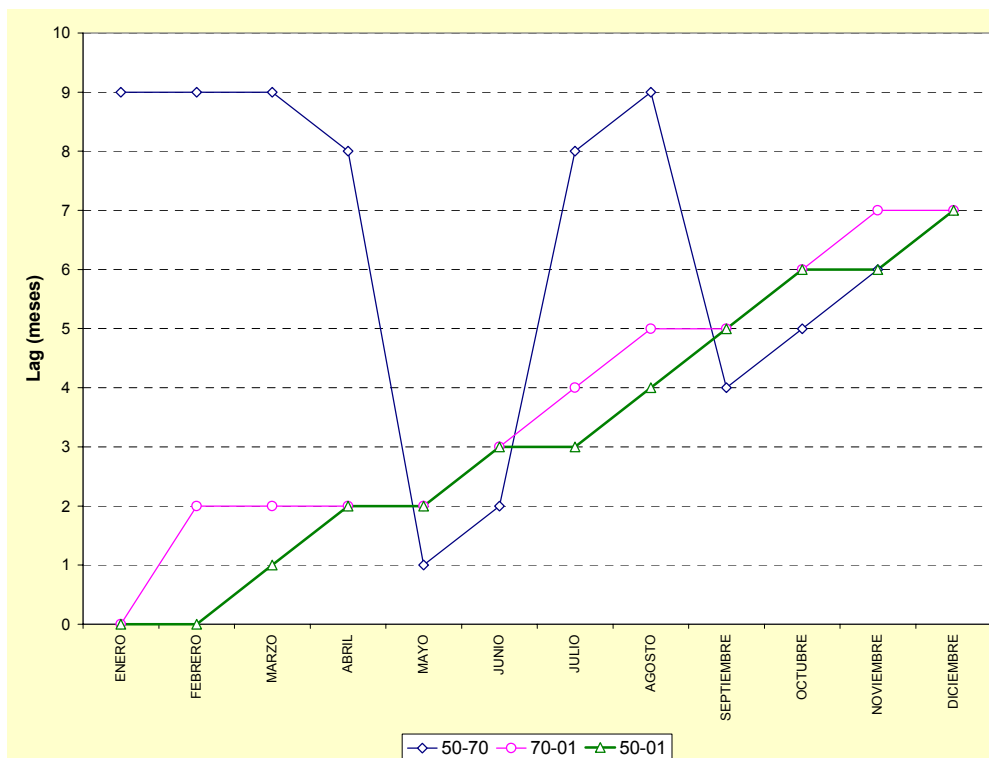
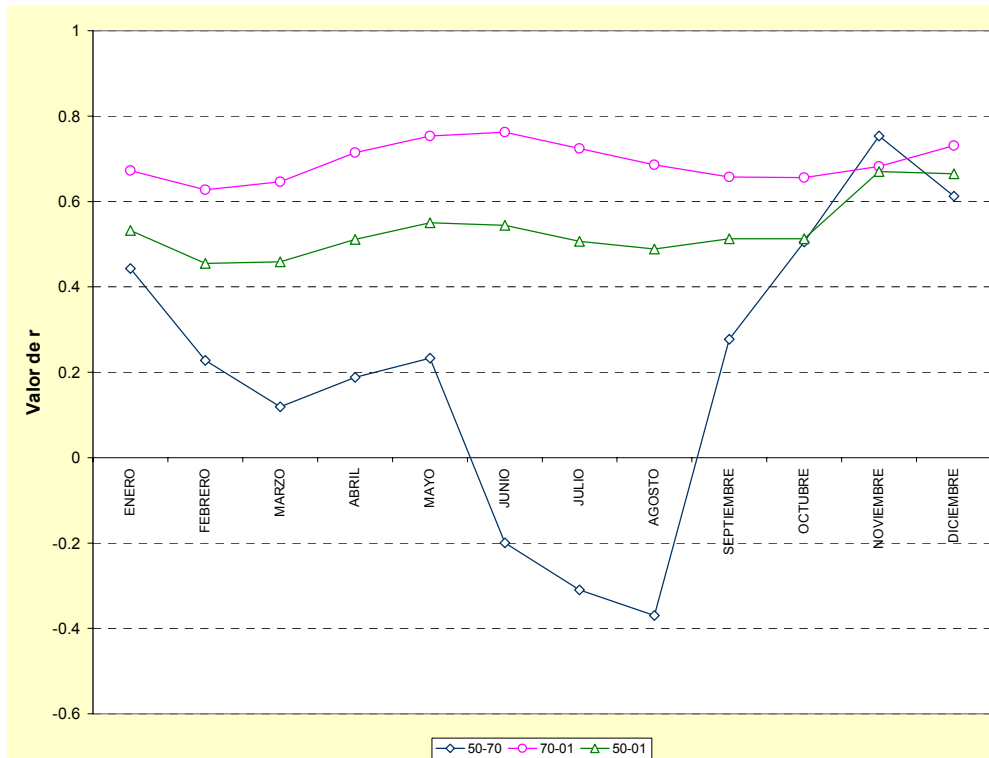


Figura 3.5 Coeficientes de correlación y tiempos de retardo entre anomalías filtradas de caudal medio mensual en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3

Tabla 3.6

Tiempos de retardo (meses) en las regresiones de anomalías filtradas de caudal medio mensual y anomalías de TSM en Niño3

Anomalía de Q medio mensual	1950-70		1970-01		1950-01	
ENERO	9	Abr(-1)	0	Ene(0)	0	Ene(0)
FEBRERO	9	May(-1)	2	Dic(-1)	0	Feb(0)
MARZO	9	Jun(-1)	2	Ene(0)	1	Feb(0)
ABRIL	8	Abr(0)	2	Feb(0)	2	Feb(0)
MAYO	1	Abr(0)	2	Mar(0)	2	Mar(0)
JUNIO	2	Dic(-1)	3	Mar(0)	3	Mar(0)
JULIO	8	Nov(-1)	4	Mar(0)	3	Abr(0)
AGOSTO	9	Nov(-1)	5	Mar(0)	4	Abr(0)
SEPTIEMBRE	4	May(0)	5	Abr(0)	5	Abr(0)
OCTUBRE	5	May(0)	6	Abr(0)	6	Abr(0)
NOVIEMBRE	6	May(0)	7	Abr(0)	6	May(0)
DICIEMBRE	7	May(0)	7	May(0)	7	May(0)

Nota: Entre paréntesis se indica si corresponde al año anterior (-1) o al año en análisis (0)

Se efectuó el análisis de contingencia categórica para los meses de mejor correlación entre anomalías de caudal y de TSM para los periodos 1950-01 y 1970-01, que se muestra en las tablas 3.7 y 3.8.

Tabla 3.7

Contingencia categórica de anomalías filtradas de caudal medio mensual de Noviembre del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Mayo (1950-2001)

Anomalías de caudal de Noviembre	Anomalías de TSM en Mayo			Total casos
	A TSMb	A TSMn	A TSMs	
AQb	3	9	1	13
Total	5.77%	17.31%	1.92%	25.00%
AQn	3	19	4	26
Total	5.77%	36.54%	7.69%	50.00%
AQs	0	5	8	13
Total %	0.00%	9.62%	15.38%	25.00%
Total casos	6	33	13	52
Total	11.54%	63.46%	25.00%	

Tabla 3.8

Contingencia categórica de anomalías filtradas de caudal medio mensual de Junio del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Marzo (1970-2001)

<i>Anomalías de caudal de Junio</i>	<i>Anomalías de TSM en Marzo</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	3	6	0	9
Total	9.68%	19.35%	0.00%	29.03%
<i>AQn</i>	3	9	2	14
Total	9.68%	29.03%	6.45%	45.16%
<i>AQs</i>	1	3	4	8
Total %	3.23%	9.68%	12.90%	25.81%
Total casos	7	18	6	31
Total	22.58%	58.06%	19.35%	

El acierto categórico para anomalías de caudal mensual de noviembre y de TSM de mayo alcanzado en 1950-01 es también de 58%, y no se da ningún caso en que una anomalías fría de TSM se asociara a una anomalía de caudal superior a la normal. En 1970-01 el 52% de los casos se ubican en la diagonal principal, mientras que anomalías de TSM superiores a 0,5°C se asocian siempre a anomalías de caudal normales o sobre la normal.

3.2 ANÁLISIS DE ANOMALÍAS DEL CAUDAL TRIMESTRAL

Para identificar las asociaciones estacionales entre anomalías, el análisis de regresión lineal se aplicó a las anomalías de caudal trimestral definidas en el capítulo 2, vinculándolas, en primer lugar, con las anomalías de TSM mensual de los 9 meses antecedentes. En una segunda etapa también se estudiaron las asociaciones entre anomalías de caudal trimestral y anomalías trimestrales de TSM.

3.2.1 *Análisis de anomalías del caudal trimestral vinculadas a anomalías mensuales de TSM*

El análisis de regresión lineal entre anomalías mensuales de TSM y anomalías de caudal trimestral muestra que los valores del coeficiente de Pearson son siempre mayores en el período 1970-2001, seguidos por los del período completo 1950-01. Los valores para el período 50-70 son los menores en todos los casos, excepto para la anomalía de caudal del trimestre OND, en que es superior.

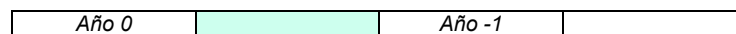
En este período (50-70) los coeficientes r son en general bajos ($<0,5$), sólo significativos para la relación entre anomalías del trimestre OND. En los trimestres AMJ y JAS son a veces negativos. En promedio, los coeficientes en el período 50-01 son 20-30% inferiores a los del período 1970-01. En este último período se alcanza la máxima correlación entre las anomalías del caudal del trimestre AMJ y la anomalías de TSM durante el mes de marzo, alcanzando un valor de $r = 0,76$, y se destaca que para todos los trimestres los coeficientes de regresión de anomalías de caudal y TSM de los meses de otoño son superiores a 0,60.

Los valores del coeficiente r de Pearson se detallan en la tabla 3.9 para las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías de TSM mensual para cada uno de los períodos analizados, y aparece resaltado el mayor valor encontrado en cada caso.

Tabla 3.9

Valores del coeficiente r de Pearson en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías mensuales de TSM en Niño3

A T S M	EFM				AMJ				JA				OND			
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período		
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01
D												0	0.62	0.37	0.43	
N												1	0.59	0.39	0.44	
O												2	0.58	0.44	0.47	
S												3	0.55	0.47	0.48	
A										0	-0.01	0.22	0.13			
J										1	-0.00	0.29	0.18			
J										2	0.03	0.41	0.26			
M					0	0.20	0.33	0.28		3	0.05	0.50	0.33			
A					1	0.21	0.51	0.40		4	0.08	0.60	0.41			
M					2	0.23	0.67	0.53		5	0.10	0.69	0.48			
F	0	0.14	0.63	0.47	3	0.11	0.76	0.56		6	-0.04	0.69	0.46			
E	1	0.14	0.63	0.48	4	0.02	0.75	0.54		7	-0.17	0.64	0.39			
D	2	0.13	0.63	0.47	5	-0.06	0.73	0.49		8	-0.24	0.59	0.33			
N	3	0.15	0.63	0.47	6	-0.07	0.71	0.47								
O	4	0.14	0.62	0.46	7	-0.08	0.68	0.43								
S	5	0.15	0.61	0.45	8	-0.06	0.65	0.41								
A	6	0.16	0.58	0.43	9	-0.04	0.62	0.39								
J	7	0.19	0.56	0.43												
J	8	0.20	0.52	0.41												
M	9	0.23	0.46	0.38												
A																



En la tabla 3.10 se presentan los tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral y anomalías de TSM mensual en Niño 3 para cada uno de los períodos analizados. Los mismos valores se presentan en la figura 3.6.



Figura 3.6 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (a) y anomalías mensuales de TSM en Niño3

Tabla 3.10

Tiempos de retardo (meses) en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías mensuales de TSM en Niño3

Anomalía de Q trimestral	1950-70		1970-01		1950-01	
	EFM	9	Jun(-1)	1	Feb(0)	1
AMJ	2	Abr(0)	3	Mar(0)	3	Mar(0)
JAS	8	Ene(0)	6	Mar(0)	5	Abr(0)
OND	7	May(0)	7	May(0)	7	May(0)

Nota: Entre paréntesis se indica si corresponde al año anterior (-1) o al año en análisis (0)

Como en el análisis efectuado con valores mensuales, también se realizó el análisis de contingencia categórica de eventos para los trimestres en los que el valor de *r* es máximo. Aquí, las categorías de anomalías de caudal trimestral sobre normal, normal y bajo normal fueron definidas por las anomalías asociadas a los caudales trimestrales correspondientes a los cuartiles tercero y primero del trimestre correspondiente. Para la categorización de anomalías de TSM se adoptó el criterio antes definido.

Se advierte que en 1950-01 el 58% de las anomalías de caudal del trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre se ubican en la diagonal principal y no hay casos de anomalías de caudal trimestral sobre la normal vinculadas a anomalías frías de TSM durante Mayo (ver tabla 3.11).

Tabla 3.11

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Octubre-Noviembre-Diciembre del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Mayo (1950-2001)

Anomalías de caudal de OND	Anomalías de TSM en Mayo			Total casos
	A TSMb	A TSMn	A TSMs	
AQb	4	10	2	16
Total	7.69%	19.23%	3.85%	30.77%
AQn	2	15	1	18
Total	3.85%	28.85%	1.92%	34.62%
AQs	0	7	11	18
Total %	0.00%	13.46%	21.15%	34.62%
Total casos	6	32	14	52
Total	11.54%	61.54%	26.92%	

En el sub-período 1970-01, cuya matriz de contingencia categórica se muestra en la tabla 3.12, el porcentaje de aciertos alcanza el 62 % entre anomalías de caudal trimestral del trimestre Abril-Mayo-Junio y anomalías de TSM del mes de Marzo, no existiendo ningún caso de anomalías cálida de TSM asociada a una anomalía de caudal trimestral inferior a la normal.

Tabla 3.12

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Abril-Mayo-Junio del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Marzo (1970-2001)

<i>Anomalías de caudal de AMJ</i>	<i>Anomalías de TSM en Marzo</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	3	4	0	7
Total	9.68%	12.90%	0.00%	22.58%
<i>AQn</i>	3	11	1	15
Total	9.68%	35.48%	3.23%	48.39%
<i>AQs</i>	1	3	5	9
Total %	3.23%	9.68%	16.13%	29.03%
<i>Total casos</i>	7	18	6	31
Total	22.58%	58.06%	19.35%	

En las correlaciones entre anomalías mensuales de TSM y anomalías de caudal trimestral considerando la división en trimestres conforme al ciclo hidrológico, los valores del coeficiente de Pearson son siempre mayores en el período 1970-2001, seguidos por los del período 1950-01. Los valores para el período 50-70 son los menores en todos los casos.

En este período (50-70) los coeficientes r son siempre bajos ($<0,5$), y negativos en las regresiones de anomalías de caudal del trimestre JJA. En promedio, los coeficientes en el período 50-01 son 20-30% inferiores a los del período 1970-01. En este último período, para todos los trimestres de anomalías de caudal los coeficientes r alcanzan valores superiores a 0,65, vinculados a las anomalías de TSM de los meses de verano y otoño (febrero, marzo, abril y mayo). El máximo coeficiente de correlación se obtiene entre las anomalías de caudal del trimestre JJA con las anomalías de TSM del mes de marzo ($r = 0,73$)

Los valores del coeficiente r de Pearson se detallan en la tabla 3.13 para las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías de TSM mensual para cada uno de los ciclos, y aparece resaltado en mayor valor encontrado en cada caso.

La tabla 3.14 presenta los tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral y anomalías de TSM mensual en Niño 3 para cada uno de los períodos analizados. Los mismos valores son presentados en la figura 3.7.

Tabla 3.13

Valores del coeficiente r de pearson en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías mensuales de TSM en Niño3

A T S M	DEF				MAM			JJA			SON					
	Lag	Período			Lag	Período		Lag	Período		Lag	Período				
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01		50-01	50-70		70-01	50-01	50-70	70-01	50-01
D N O S A J J M A M F E											0	0.40	0.17	0.24		
											1	0.39	0.22	0.27		
											2	0.36	0.26	0.28		
								0	-0.03	0.23	0.13	3	0.38	0.32	0.33	
								1	0.01	0.36	0.23	4	0.42	0.52	0.40	
					0	0.18	0.48	0.37	2	0.04	0.47	0.31	5	0.46	0.59	0.48
					1	0.19	0.63	0.47	3	0.08	0.61	0.41	6	0.49	0.66	0.53
					2	0.13	0.71	0.51	4	0.12	0.71	0.50	7	0.47	0.63	0.57
		0	0.21	0.67	0.52	3	0.11	0.72	0.52	5	-0.01	0.73	0.49	8	0.31	0.56
D N O S A J J M A	1	0.21	0.67	0.51	4	0.07	0.71	0.49	6	-0.15	0.69	0.42	9	0.40	0.17	0.40
	2	0.15	0.67	0.50	5	0.10	0.71	0.51	7	-0.20	0.64	0.36				
	3	0.15	0.67	0.49	6	0.10	0.69	0.48	8	-0.30	0.60	0.32				
	4	0.15	0.66	0.49	7	0.11	0.66	0.47	9	-0.03	0.57	0.28				
	5	0.15	0.66	0.48	8	0.13	0.62	0.45								
	6	0.19	0.65	0.50	9	0.14	0.57	0.42								
	7	0.24	0.62	0.50												
	8	0.31	0.56	0.50												
	9	0.39	0.56	0.49												



Tabla 3.14

Tiempos de retardo (meses) en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías mensuales de TSM en Niño3

Anomalía de Q trimestral	1950-70		1970-01		1950-01	
	Lag	Período	Lag	Período	Lag	Período
DEF	9	May(-1)	0	Ene(0)	0	Ene(0)
MAM	1	Abr(0)	3	Feb(0)	3	Feb(0)
JJA	8	Dic(-1)	4	Mar(0)	4	Abr(0)
SON	6	May(0)	6	May(0)	7	Abr(0)

Nota: Entre paréntesis se indica si corresponde al año anterior (-1) o al año en curso (0)

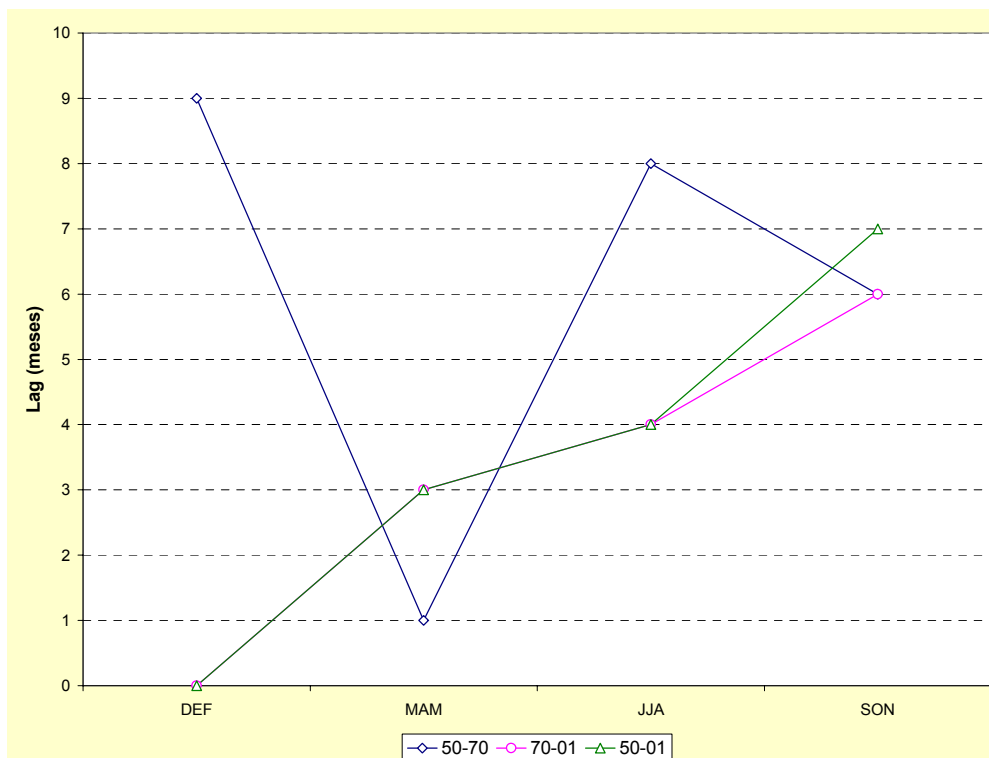
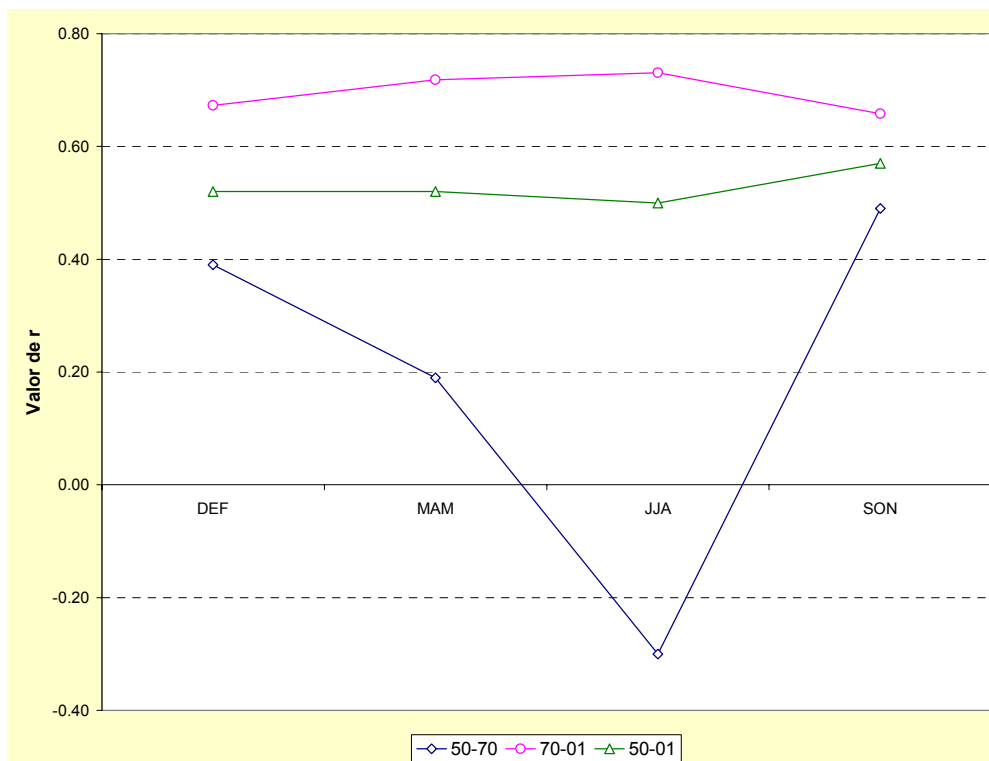


Figura 3.7 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (a) y anomalías mensuales de TSM en Niño3

El análisis de contingencia efectuado para las anomalías de caudal trimestral de mejor correlación con anomalías mensuales de TSM se resume en las tablas 3.15 y 3.16 para 1950-01 y 1970-01, respectivamente.

En el período completo el acierto categórico es del 56% entre las anomalías de caudal del trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre y las anomalías de TSM del mes de Abril. En el período 1970-01 no parece haber una definida relación directa entre las categorías de anomalías de caudal del trimestre JJA y las de TSM de Marzo, ya que el acierto categórico disminuye a 39%. Con un valor de r tan alto como 0,73, se intuye que debería ensayarse otro tipo de categorización de anomalías de caudal trimestral.

Tabla 3.15

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Septiembre-Octubre-Noviembre del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Abril (1950-2001)

<i>Anomalías de caudal de SON</i>	<i>Anomalías de TSM en Abril</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	5	9	2	16
Total	9.62%	17.31%	3.85%	30.77%
<i>AQn</i>	2	15	2	19
Total	3.85%	28.85%	3.85%	36.54%
<i>AQs</i>	0	8	9	17
Total %	0.00%	15.38%	17.31%	32.69%
Total casos	7	32	13	52
Total	13.46%	61.54%	25.00%	

Tabla 3.16

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Junio-Julio-Agosto del río Paraná en Paraná y anomalías de TSM en Niño 3 durante Marzo (1970-2001)

<i>Anomalías de caudal de JJA</i>	<i>Anomalías de TSM en Marzo</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	3	7	1	11
Total	9.68%	22.58%	3.23%	35.48%
<i>AQn</i>	3	5	1	9
Total	9.68%	16.13%	3.23%	29.03%
<i>AQs</i>	1	6	4	11
Total %	3.23%	19.35%	12.90%	35.48%
Total casos	7	18	6	31
Total	22.58%	58.06%	19.35%	31

3.2.2 Análisis de anomalías del caudal trimestral y anomalías trimestrales de TSM

Como en 3.2.1, se consideraron las 2 divisiones en trimestres mencionadas para definir las anomalías de caudal trimestral, pero para las anomalías trimestrales de TSM fueron ensayadas todas las agrupaciones posibles incluyendo los 9 meses de TSM antecedentes, con el propósito de definir el grupo de meses que proporcione la mejor asociación con las anomalías de caudal trimestral.

Tabla 3.17

Valores del coeficiente r de Pearson en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías trimestrales de TSM en Niño3

A TSM	EFM				AMJ				JAS				OND			
	Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período			Lag	Período		
		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01		50-70	70-01	50-01
OND												0	0.59	0.40	0.45	
SON												1	0.57	0.43	0.46	
ASO												2	0.57	0.48	0.49	
JAS								0	0.00	0.30	0.19	3	0.58	0.53	0.53	
JJA								1	0.02	0.40	0.26	4	0.62	0.59	0.58	
MJJ								2	0.05	0.51	0.33	5	0.67	0.65	0.64	
AMJ					0	0.22	0.52	0.41	3	0.08	0.61	0.42	6	0.71	0.70	0.67
MAM					1	0.20	0.68	0.52	4	0.05	0.69	0.47	7	0.68	0.68	0.64
FMA					2	0.12	0.75	0.56	5	-0.05	0.69	0.46	8	0.52	0.59	0.54
EFM	0	0.14	0.60	0.47	3	0.01	0.75	0.54	6	-0.17	0.65	0.39	9	0.30	0.49	0.41
DEF	1	0.14	0.60	0.47	4	-0.04	0.73	0.50	7	-0.24	0.60	0.33				
NDE	2	0.14	0.59	0.46	5	-0.07	0.71	0.46	8	-0.28	0.56	0.28				
OND	3	0.15	0.59	0.46	6	-0.07	0.68	0.44	9	-0.35	0.53	0.24				
SON	4	0.15	0.58	0.45	7	-0.06	0.65	0.41								
ASO	5	0.17	0.56	0.44	8	-0.05	0.62	0.39								
JAS	6	0.18	0.53	0.43	9	-0.04	0.57	0.36								
JJA	7	0.21	0.50	0.41												
MJJ	8	0.23	0.45	0.38												
AMJ	9	0.25	0.38	0.34												

Año 0		Año -1	
-------	--	--------	--

Cuando los trimestres para el cálculo del caudal trimestral se definen a partir del mes de enero, se obtienen los valores del coeficiente r de Pearson mayores en las regresiones lineales en el período 1970-01, con un valor máximo en la regresión lineal entre anomalías de caudal del trimestre AMJ y anomalías de TSM del trimestre EFM ($r = 0,75$). Los valores de r durante el período total (50-01) son, en promedio, 20% inferiores a los del último ciclo con un máximo para la correlación entre la anomalías de caudal de OND y la anomalía de TSM durante AMJ ($r = 0,67$). Los valores en 50-70 son siempre inferiores, excepto para el trimestre OND (ver tabla 3.17).

Los valores de retardo entre anomalías de caudal trimestral y anomalía trimestral de TSM para los máximos valores de r se presentan en la figura 3.8 y en la tabla 3.18.

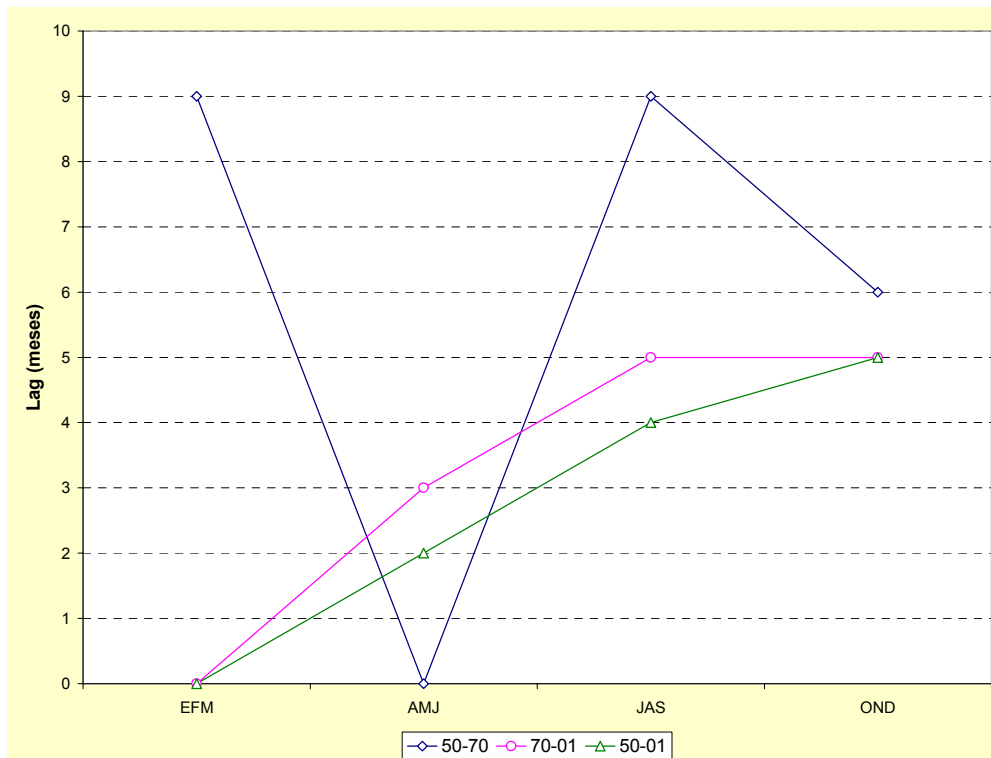


Figura 3.8 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (b) y anomalías trimestrales de TSM en Niño3

Tabla 3.18

Tiempos de retardo (meses) en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías trimestrales de TSM en Niño3

Anomalía de Q trimestral	1950-70		1970-01		1950-01	
	EFM	9	AMJ(-1)	0	EFM(0)	0
AMJ	0	AMJ(0)	3	DEF(0)	2	FMA(0)
JAS	9	OND(-1)	5	FMA(0)	4	MAM(0)
OND	6	AMJ(0)	6	AMJ(0)	6	AMJ(0)

Nota: Entre paréntesis se indica si corresponde al año anterior (-1) o al año en curso (0)

El análisis de contingencia presentado en las tablas 3.19 y 3.20 para 1950-01 y 1970-01, respectivamente, indica que el porcentaje de acierto es de 58% entre anomalías de caudal de OND y anomalías de TSM del trimestre AMJ, no habiendo ningún caso de anomalías de TSM frías vinculadas a valores altos de anomalías de caudal trimestral.

Tabla 3.19

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Octubre-Noviembre-Diciembre y anomalías trimestrales de TSM en Niño 3 durante Abril-Mayo-Junio (1950-2001)

Anomalías de caudal de OND	Anomalías de TSM en AMJ			Total casos
	A TSMb	A TSMn	A TSMs	
Aqb	5	9	2	16
Total	9.62%	17.31%	3.85%	30.77%
Aqn	3	14	1	18
Total	5.77%	26.92%	1.92%	34.62%
Aqs	0	7	11	18
Total %	0.00%	13.46%	21.15%	34.62%
Total casos	8	30	14	52
Total	15.38%	57.69%	26.92%	

En el período 1970-01 se observa que el acierto categórico asciende a 64% y todos los casos de anomalías trimestrales de TSM se corresponden con anomalías de caudal trimestral normales o sobre la normal.

El mismo análisis se repitió para la división de trimestres efectuada a partir del mes de diciembre, observándose que nuevamente los valores de Pearson son superiores en 70-01, seguidos por los del período 50-01. Estos valores se presentan en la tabla 3.21 y en la

tabla 3.22 se detallan los tiempos de retardo obtenidos para los valores máximos de los coeficientes de regresión lineal. Los mismos se presentan en la figura 3.9.

Tabla 3.20

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Abril-Mayo-Junio y anomalías trimestrales de TSM en Niño 3 durante Enero-Febrero-Marzo (1970-2001)

<i>Anomalías de caudal de AMJ</i>	<i>Anomalías de TSM en EFM</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	3	4	0	7
Total	9.68%	12.90%	0.00%	22.58%
<i>AQn</i>	3	11	1	15
Total	9.68%	35.48%	3.23%	48.39%
<i>AQs</i>	1	2	6	9
Total %	3.23%	6.45%	19.35%	29.03%
<i>Total casos</i>	7	17	7	31
Total	22.58%	54.84%	22.58%	

Tabla 3.21

Valores del coeficiente r de pearson en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías trimestrales de TSM en Niño3

<i>A TSM</i>	<i>DEF</i>				<i>MAM</i>				<i>JJA</i>				<i>SON</i>			
	<i>Lag</i>	<i>Período</i>			<i>Lag</i>	<i>Período</i>			<i>Lag</i>	<i>Período</i>			<i>Lag</i>	<i>Período</i>		
		<i>50-70</i>	<i>70-01</i>	<i>50-01</i>		<i>50-70</i>	<i>70-01</i>	<i>50-01</i>		<i>50-70</i>	<i>70-01</i>	<i>50-01</i>		<i>50-70</i>	<i>70-01</i>	<i>50-01</i>
OND																
SON												0	0.38	0.22	0.26	
ASO												1	0.38	0.27	0.29	
JAS												2	0.39	0.34	0.34	
JJA								0	0.00	0.35	0.22	3	0.42	0.42	0.40	
MJJ								1	0.04	0.48	0.31	4	0.46	0.52	0.47	
AMJ								2	0.07	0.61	0.42	5	0.49	0.61	0.54	
MAM					0	0.17	0.63	0.47	3	0.06	0.71	0.49	6	0.44	0.65	0.56
FMA					1	0.15	0.71	0.52	4	-0.02	0.73	0.48	7	0.30	0.63	0.50
EFM					2	0.10	0.72	0.52	5	-0.14	0.69	0.43	8	0.12	0.56	0.41
DEF	0	0.21	0.68	0.52	3	0.09	0.71	0.50	6	-0.21	0.64	0.37	9	-0.01	0.49	0.32
NDE	1	0.20	0.67	0.51	4	0.08	0.70	0.49	7	-0.24	0.60	0.32				
OND	2	0.15	0.67	0.50	5	0.10	0.69	0.49	8	-0.30	0.57	0.28				
SON	3	0.15	0.67	0.49	6	0.11	0.66	0.47	9	-0.29	0.53	0.25				
ASO	4	0.16	0.67	0.49	7	0.12	0.62	0.45								
JAS	5	0.19	0.66	0.50	8	0.13	0.57	0.41								
JJA	6	0.24	0.65	0.50	9	0.12	0.50	0.37								
MJJ	7	0.31	0.62	0.50												
AMJ	8	0.38	0.56	0.49												
MAM	9	0.45	0.45	0.43												

Año 0		Año -1	
-------	--	--------	--

Tabla 3.22

Tiempos de retardo (meses) en las regresiones de anomalías de caudal trimestral y anomalías trimestrales de TSM en Niño3

Anomalía de Q trimestral	1950-70		1970-01		1950-01	
DEF	9	MAM	0	DEF	0	DEF
MAM	0	MAM	2	EFM	1	FMA
JJA	8	OND(-1)	4	FMA	3	MAM
SON	5	AMJ	5	MAM	5	MAM

Nota: Entre paréntesis se indica si corresponde al año anterior (-1) o al año en curso (0)

En este caso, el acierto categórico para anomalías de caudal trimestral de SON y anomalías de TSM del trimestre MAM es de 58% en el período 1950-01 (tabla 3.23) y baja a 38% en la categorización de anomalías de caudal del trimestre JJA y anomalías de TSM del trimestre FMA (tabla 3.24).

Tabla 3.23

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Septiembre-Octubre-Noviembre y anomalías trimestrales de TSM en Niño 3 durante Marzo-Abril-Mayo (1950-2001)

Anomalías de caudal de SON	Anomalías de TSM en MAM			Total casos
	A TSMb	A TSMn	A TSMs	
AQb	5	9	2	16
Total	9.62%	17.31%	3.85%	30.77%
AQn	2	16	2	20
Total	3.85%	30.77%	3.85%	38.46%
AQs	1	6	9	16
Total %	1.92%	11.54%	17.31%	30.77%
Total casos	8	31	13	52
Total	15.38%	59.62%	25.00%	

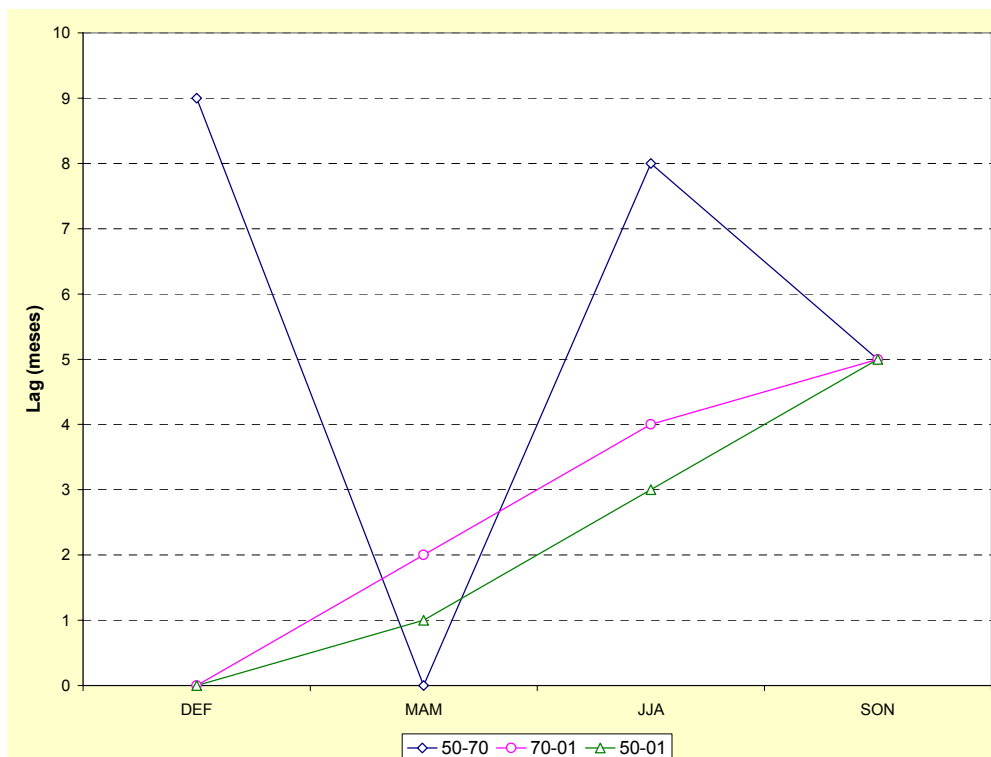
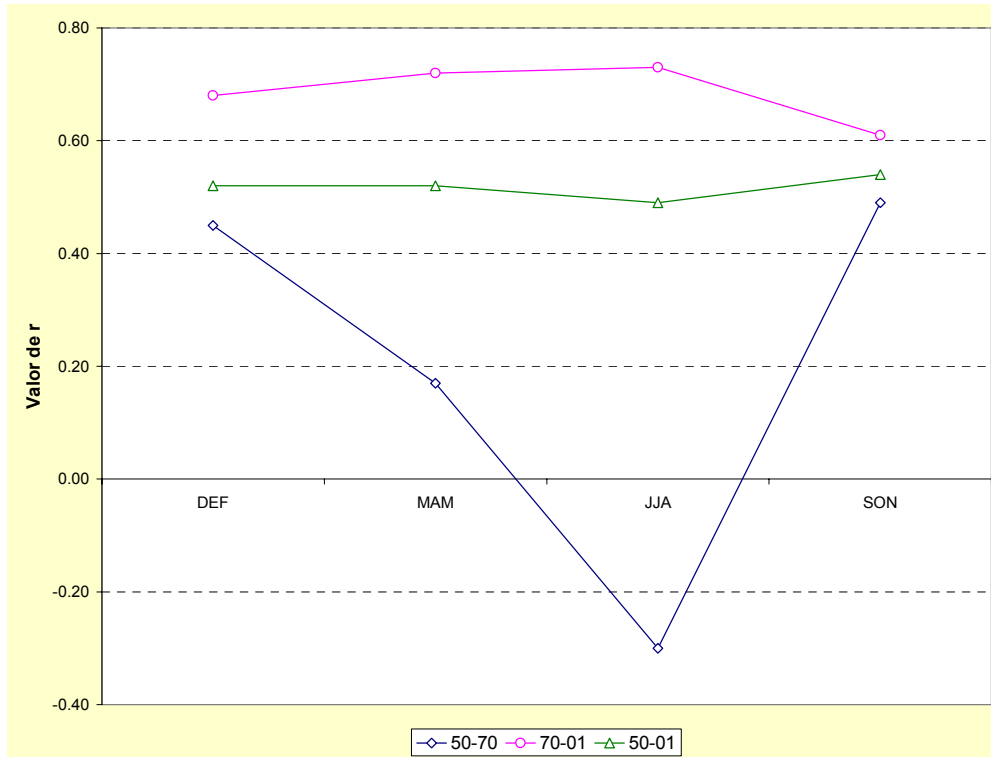


Figura 3.9 Tiempos de retardo en las regresiones lineales de anomalías de caudal trimestral (b) y anomalías trimestrales de TSM en Niño3

Tabla 3.24

Contingencia categórica de anomalías de caudal trimestral de Junio-Julio-Agosto y anomalías trimestrales de TSM en Niño 3 durante Febrero-Marzo-Abril (1970-2001)

<i>Anomalías de caudal de JJA</i>	<i>Anomalías de TSM en FMA</i>			<i>Total casos</i>
	<i>A TSMb</i>	<i>A TSMn</i>	<i>A TSMs</i>	
<i>AQb</i>	3	7	1	11
Total	9.68%	22.58%	3.23%	35.48%
<i>AQn</i>	3	5	1	9
Total	9.68%	16.13%	3.23%	29.03%
<i>AQs</i>	1	6	4	11
Total %	3.23%	19.35%	12.90%	35.48%
Total casos	7	18	6	31
Total	22.58%	58.06%	19.35%	

3.3 DISCUSION

Los resultados obtenidos demuestran que en general las vinculaciones entre anomalías de caudal y anomalías de TSM en Niño 3 son más fuertes en el período 1970-2001 que en el que lo antecede y de hecho se obtienen diferencias al considerar un período u otro.

Considerando los resultados obtenidos para el período 1970-01, la anomalía de caudal para la que se obtienen mejores resultados corresponde al mes de junio, con un tiempo de retardo de 3 meses respecto de la anomalía de TSM de marzo. Mientras en el período total el mejor resultado corresponde a la anomalía de caudal de diciembre, vinculada a la anomalía de TSM de Junio. Filtrando las anomalías de caudal se obtienen, básicamente, las mismas conclusiones para ambos períodos, ya que si bien en 1950-01 el máximo valor de r (0,67) se obtiene para la anomalía de caudal de Noviembre, su diferencia con diciembre (0,66) no es significativa.

Al considerar las anomalías de caudal trimestral se obtienen los mejores resultados para el trimestre AMJ vinculada a la anomalía de TSM de marzo, durante 1970-01 ($r = 0,76$). Pero hay una fuerte asociación ($r = 0,66$) de las anomalías de caudal del trimestre OND con la TSM de mayo, cuando se considera el período total.

Similarmente, se obtiene la mejor correlación entre anomalías de caudal de JJA ($r = 0,73$) y TSM de Marzo en 1970-01, mientras que en 1950-01 se obtiene también el mayor coeficiente r para anomalías de TSM de Abril, pero en su vinculación a anomalías de caudal del trimestre SON ($r = 0,57$).

Finalmente, cuando se consideran ambos índices trimestrales se obtiene la mejor correlación en 1970-01 entre anomalías de caudal de AMJ con TSM de EFM ($r = 0,75$) y en 1950-01, de anomalías de caudal del trimestre OND con un tiempo de retardo de 2 trimestres respecto a la anomalía de TSM (AMJ) y un valor de $r = 0,67$.

Un resultado similar fue reportado por Cacik (1996) y Berri et al. (1998) para la vinculación entre caudales trimestrales registrados en las estaciones Posadas y Corrientes del Río Paraná y TSM en Niño 3, en el período 1950-1994. Estos autores informaron un coeficiente de correlación de 0,68 entre los caudales del trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre y las anomalías de TSM de abril-mayo en Posadas y un coeficiente de correlación de 0,64 para Corrientes, ambos en el período 1950-1993.

También se ha encontrado una alta correlación entre la anomalía de caudal del trimestre MAM con la anomalía de TSM del trimestre EFM en el período 1970-01 y entre la anomalía de caudal del trimestre SON con el índice de TSM del trimestre MAM, indicando un retardo de 6 meses entre anomalías para el período 1950-01.

Todos estos resultados indican una fuerte vinculación entre la temperatura de la superficie del mar en Niño 3 sobre los caudales del río Paraná durante el verano y otoño, demostrándose así que el fenómeno El Niño está, en general, asociado a anomalías de caudal sobre la normal.

4 RELACIÓN ENTRE EL ENSO Y LAS GRANDES CRECIDAS DEL RÍO PARANÁ

4.1 IDENTIFICACION DE GRANDES CRECIDAS

El régimen hidrológico del Río Paraná presenta características estacionales relativamente bien definidas, con crecidas que ocurren anualmente dentro del semestre Enero-Junio y un período de estiaje comprendido entre los meses de Agosto y Octubre. Desde fines del siglo pasado se han registrado crecidas muy importantes, con caudales muy elevados y, en algunos casos, una larga duración. Muchos de esos episodios extremos ocurrieron a partir de mediados de la década del 60, destacándose no sólo la envergadura de sus picos (siendo los mayores 54839 m³/s en julio de 1983 y 55.851 m³/s en junio de 1992 en Paraná), sino, y sobre todo, el aumento de su frecuencia.

Se destaca también la duración de alguno de estos episodios; en particular, la permanencia del evento de 1982/3, en el cual el caudal superó los 30.000 m³/s durante 252 días, en la estación Santa Fe-Paraná.

En este capítulo se relacionan algunas características de las crecidas más importantes del río Paraná, en el período 1902-2001, con el fenómeno de El Niño.

4.2 COMPARACIÓN ENTRE EL ENSO Y LAS GRANDES CRECIDAS

Jaime y Menéndez (2002) identificaron y caracterizaron los cambios experimentados por el régimen del Río Paraná en el período 1930-2001, señalando la existencia de 3 ciclos de características diferenciadas: medio (1930-1943), seco (1944-1970) y húmedo (1971-2001). Para cada uno de estos ciclos se estimaron los valores de caudales medios mensuales umbrales que definen la existencia de períodos de aguas bajas y altas para una frecuencia promedio similar a la del fenómeno ENSO. Los valores de los umbrales de aguas bajas y altas calculados se reproducen en la tabla 4.1.

Tabla 4.1

Umbrales del caudal medio mensual del río Paraná para aguas altas y bajas (m³/s)

Ciclo	Umbral de aguas altas	Umbral de aguas bajas
1930-1943	27800	8200
1944-1970	28500	8250
1971-2001	32000	11000

Con los valores de umbral de aguas altas así definidos se seleccionaron las mayores crecidas del río Paraná ocurridas en el último siglo. Las 22 crecidas seleccionadas se detallan en orden cronológico en la tabla 4.2, en la que se incluye el volumen excedente del valor umbral, la permanencia de caudales superiores al valor umbral y el caudal mensual máximo alcanzado en esos períodos. En las figuras 4.1a y 4.1b se presenta la serie completa de caudales medios mensuales del Río Paraná en Paraná-Santa Fe, identificándose los máximos incluidos en la tabla 4.2.

Tabla 4.2
Crecidas seleccionadas en el río Paraná

Número	Fecha		Q mensual máximo (m ³ /s)	Duración (meses)	Tpico (meses)	Volumen excedente del umbral (hm ³)
	Mes	Año				
1	6	5	46777	6.08	3.79	89452
2	1	12	34550	3.35	0.31	20509
3	3	21	34187	2.14	0.94	18061
4	7	22	28078	0.22	0.2	22
5	3	26	28418	0.13	0.06	71
6	3	29	38612	2.18	0.79	34261
7	4	31	32193	4.04	0.93	21186
8	5	32	28967	0.51	0.27	637
9	11	35	29139	0.2	0.1	298
10	4	46	30107	1.26	1.04	3793
11	4	51	31114	0.73	0.47	2944
12	10	57	28463	0.12	0.07	69
13	3	59	32005	1.95	0.65	10209
14	4	61	35503	2.45	0.53	27901
15	4	65	30477	0.59	0.24	1889
16	3	66	42906	2.37	0.53	49563
17	3	77	34341	1.33	1.12	7400
18	7	83	51230	8.88	7.23	297378
19	2	90	32187	0.16	0.07	245
20	6	92	46506	2.54	1.07	51676
21	3	95	34297	0.97	0.42	4160
22	5	98	49451	6.64	5.28	94611

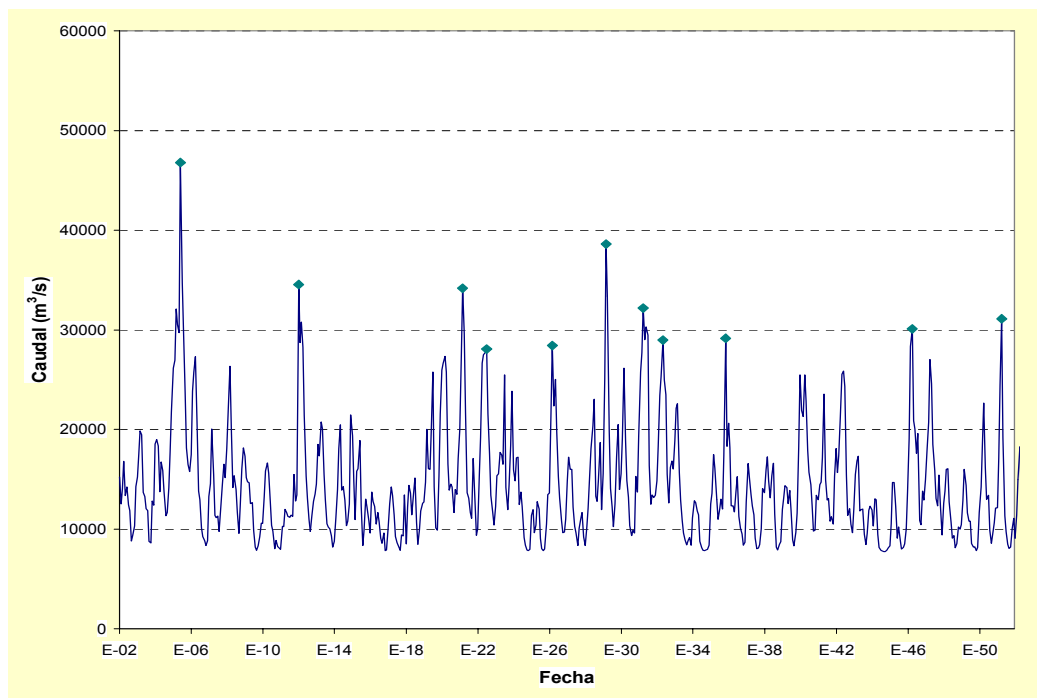


Figura 4.1a Caudales medios mensuales del Río Paraná en el período 1902-1951

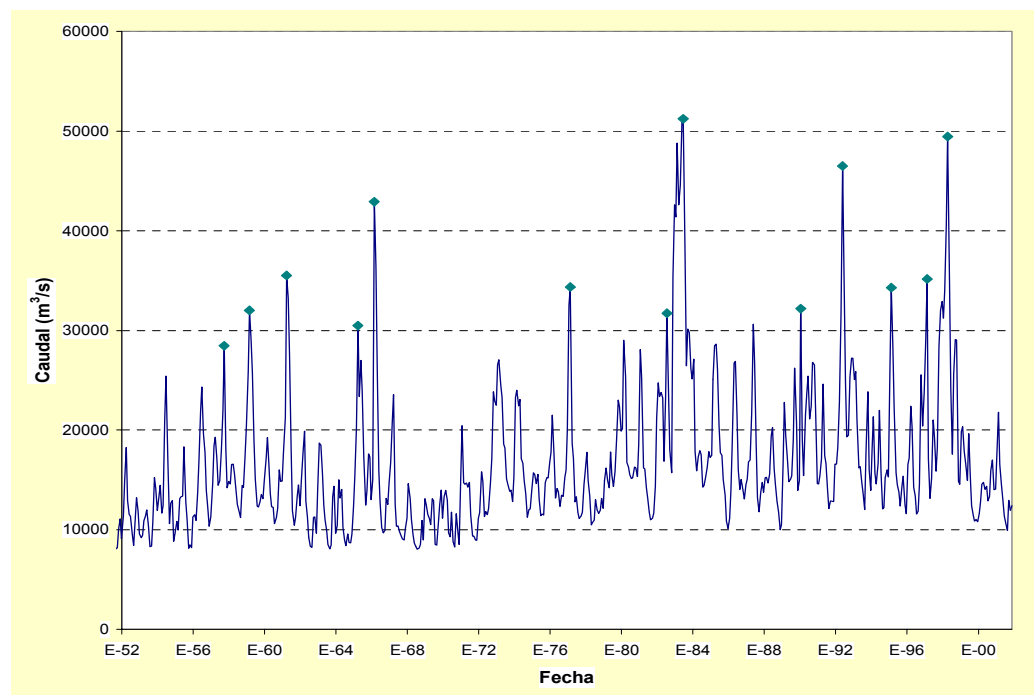


Figura 4.1b Caudales medios mensuales del Río Paraná en el período 1952-2001

La disponibilidad de datos de nivel hidrométrico en el siglo XIX ha permitido realizar estimaciones de caudal asociado a las crecidas extraordinarias de 1812, 1858 y 1878, todas del orden de 50000 m³/s. Esas estimaciones sugieren que la magnitud de los picos de crecidas recientes no es excepcional, sino que es el aumento de la frecuencia de los eventos extremos a partir de 1960 lo que representa un cambio significativo en relación a la incidencia de los sistemas climáticos de gran escala que provocan inundaciones (Pochat, 1999).

En cuanto a la duración de los mayores episodios de inundación de este siglo, es notable la permanencia del evento de 1982/83. La explicación para la duración de este episodio es la secuencia de lluvias mensuales registradas en un solo período de doce meses. Entre junio de 1982 y mayo de 1983, las precipitaciones en la cuenca para junio, noviembre, enero y mayo fueron las mayores registradas en esos meses desde comienzos del siglo.

Los eventos de 1905/06 y 1991/2 representan episodios de inundación más típicos sobre el río Paraná y tienen características comunes, con un hidrograma que crece muy rápidamente

En las figuras 4.2 a 4.21. se presenta la evolución del caudal medio mensual para las 22 crecidas más importantes identificadas, junto a la evolución de los índices de ENSO, IOS e Índices de TSM (Índice JMA para aquellas anteriores a 1950 e Índice CPC para las posteriores a 1950, respectivamente).

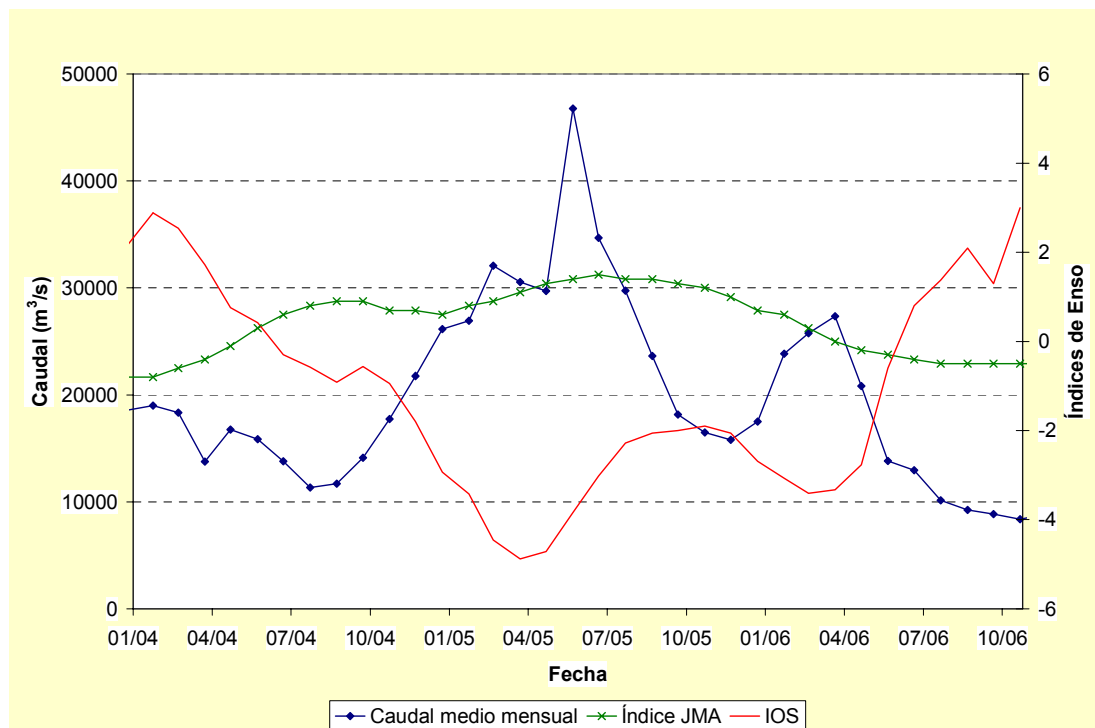


Figura 4.2 Crecida de 1905 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

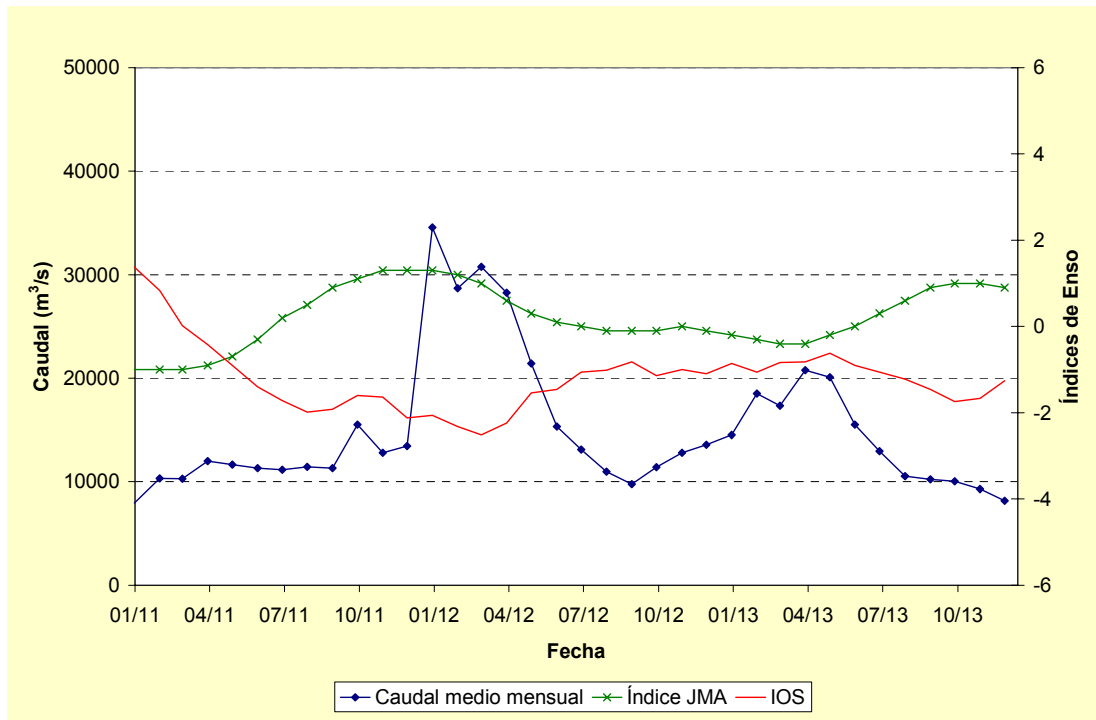


Figura 4.3 Crecida de 1912 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

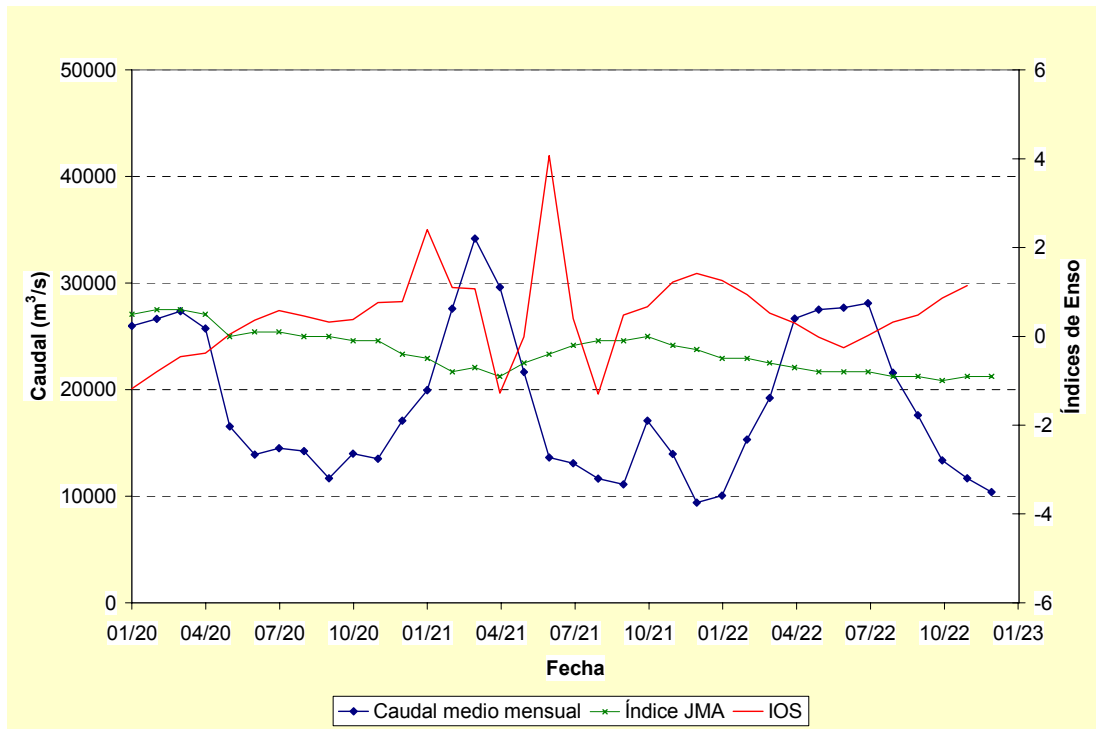


Figura 4.4 Crecida de 1921-22 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

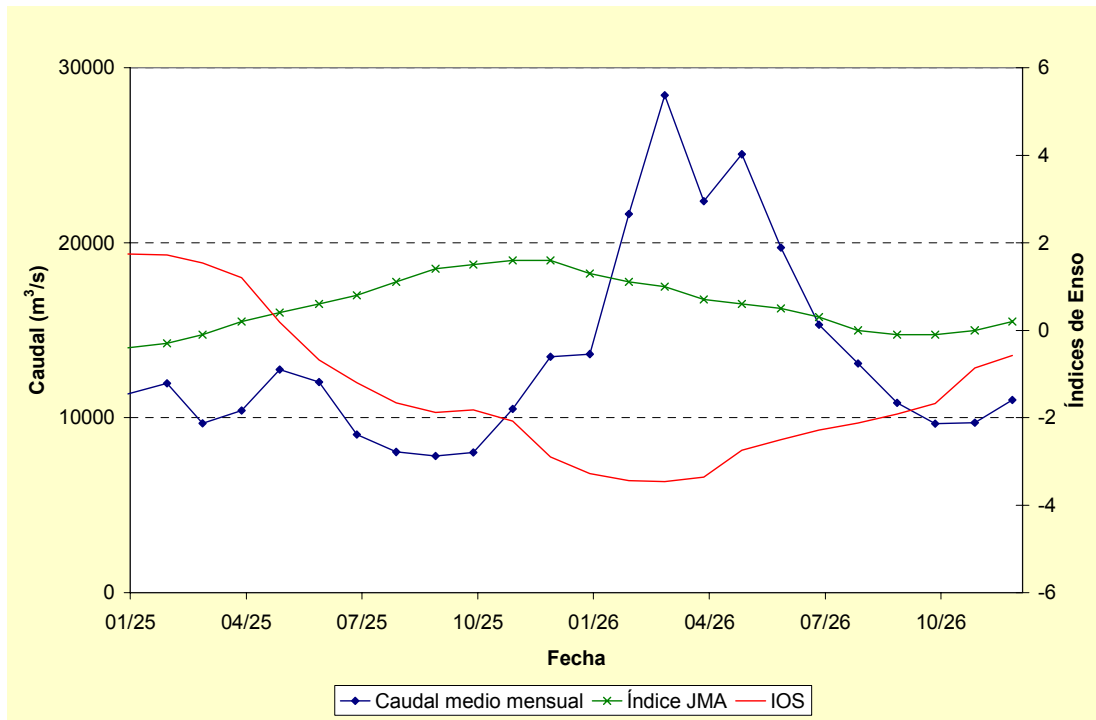


Figura 4.5 Crecida de 1926 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

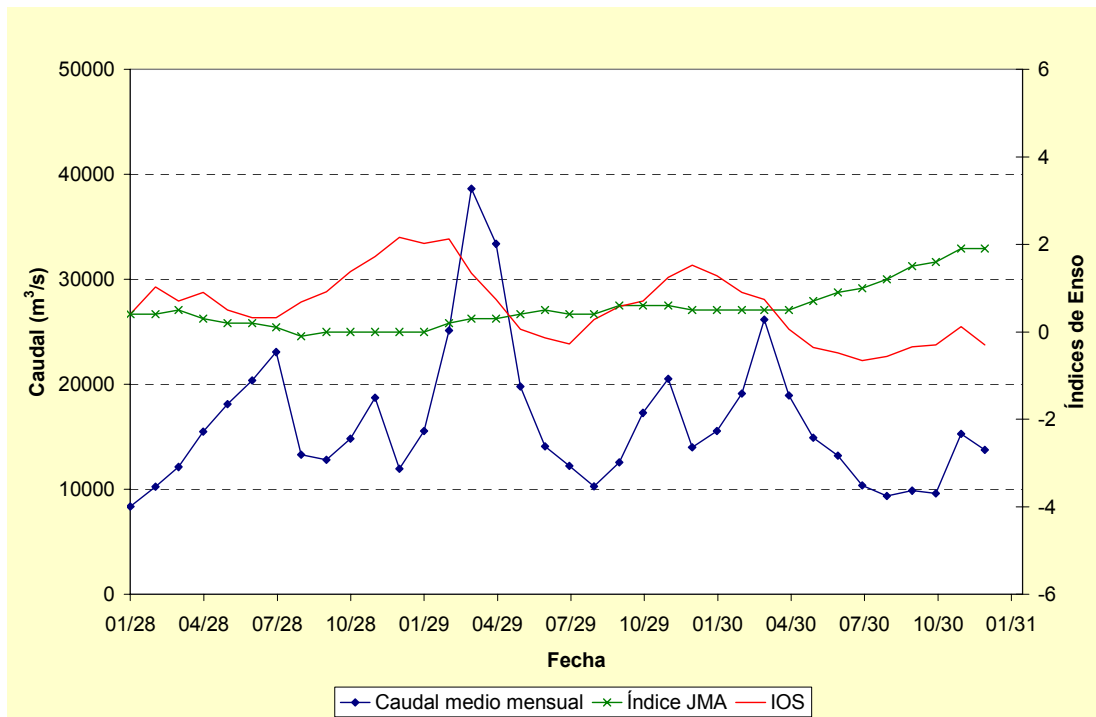


Figura 4.6 Crecida de 1929 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

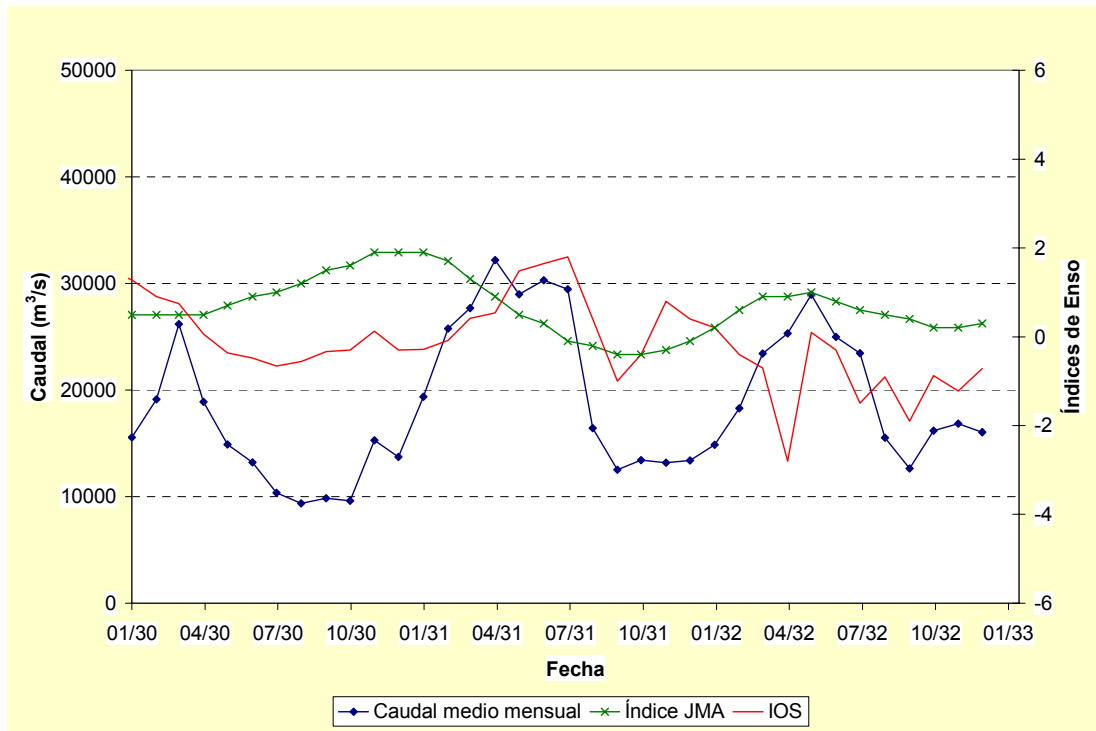


Figura 4.7 Crecidas de 1931 y 1932 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

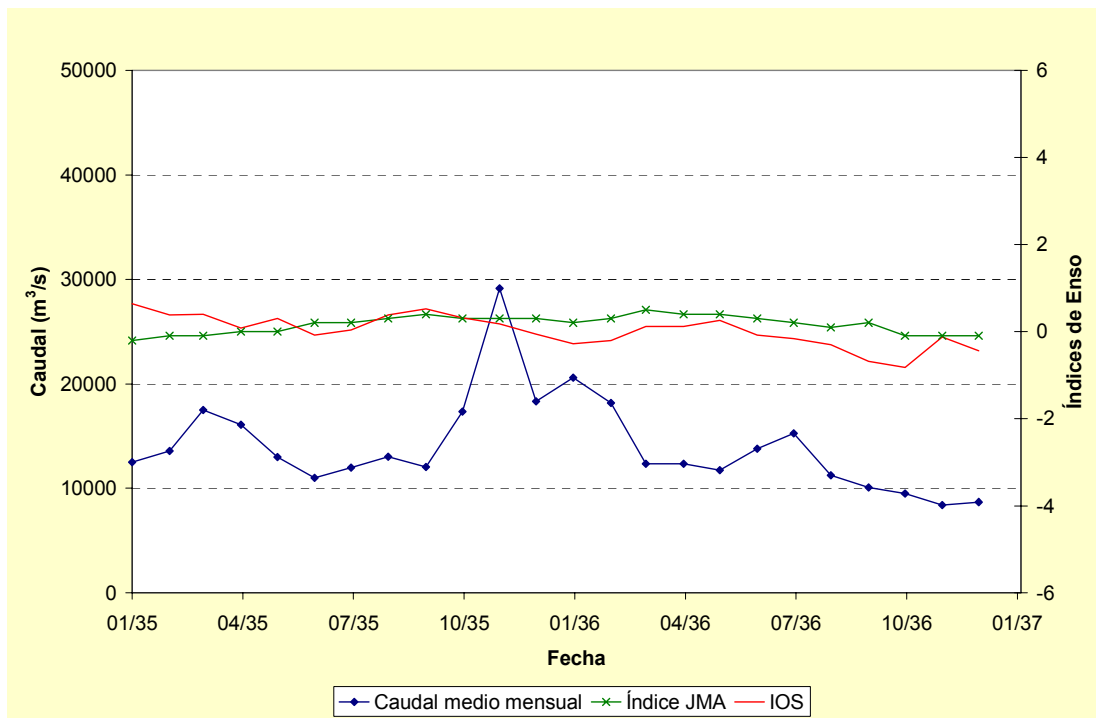


Figura 4.8 Crecida de 1935 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

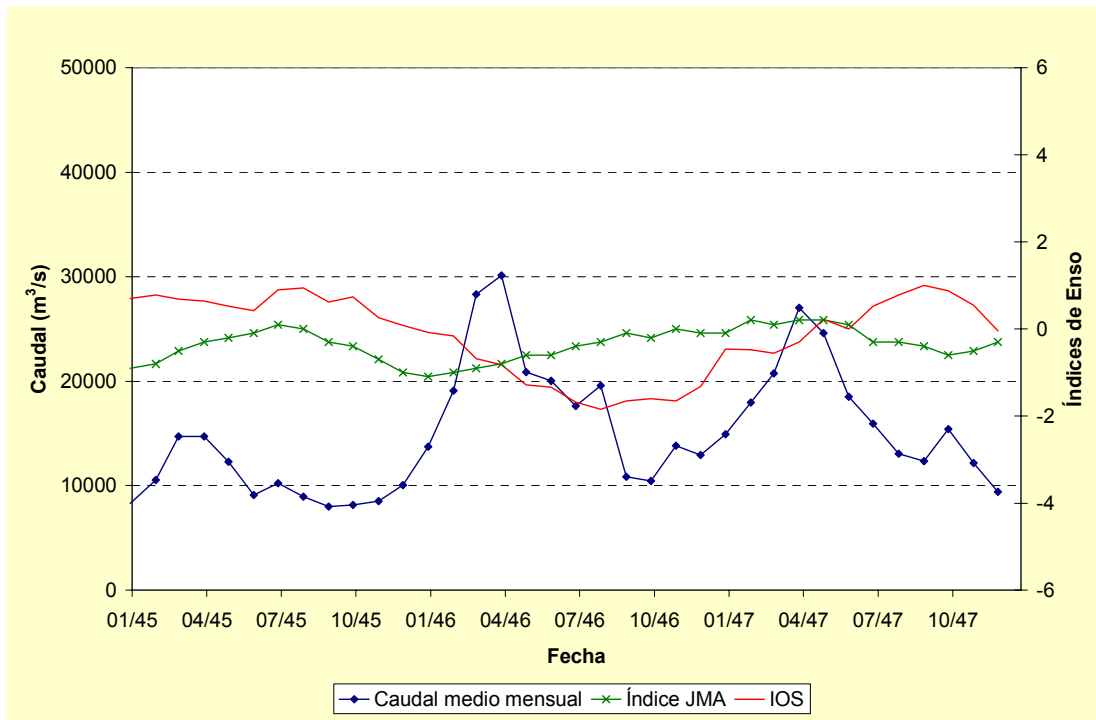


Figura 4.9 Crecida de 1946 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

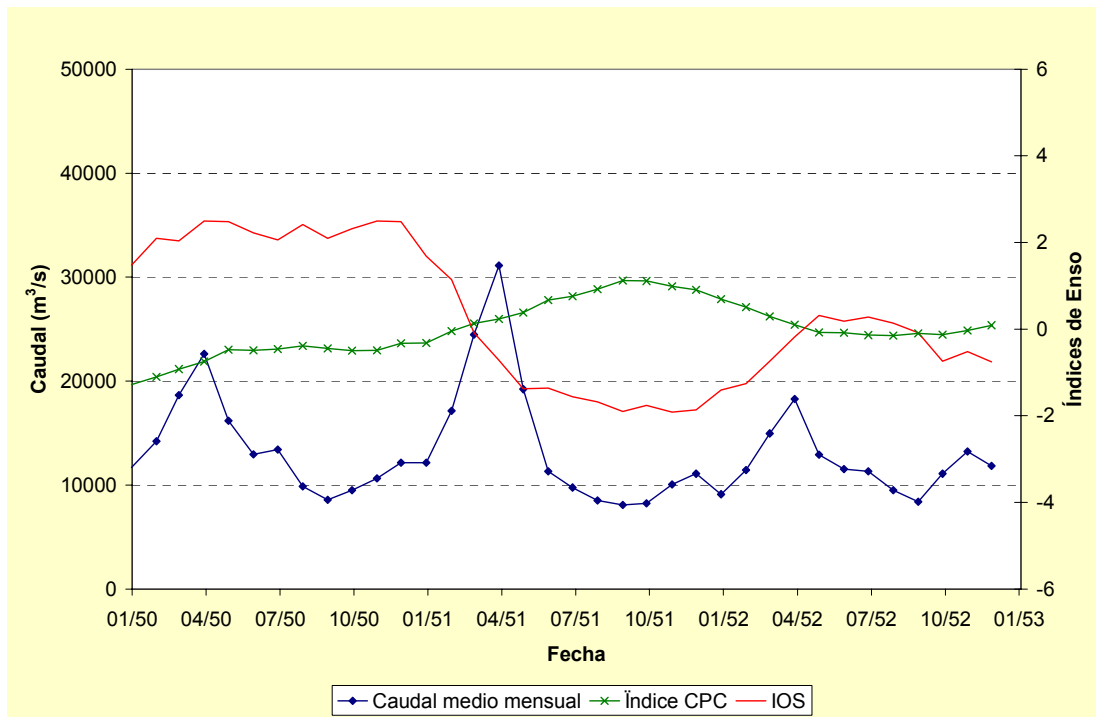


Figura 4.10 Crecida de 1951 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

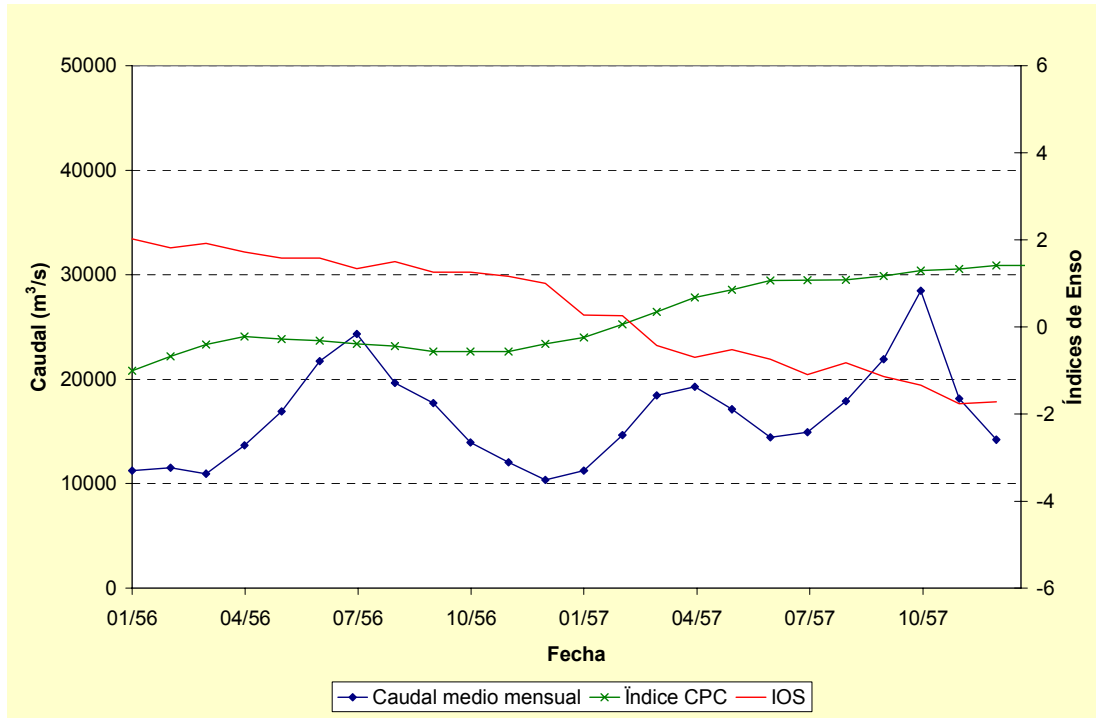


Figura 4.11 Crecida de 1957 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

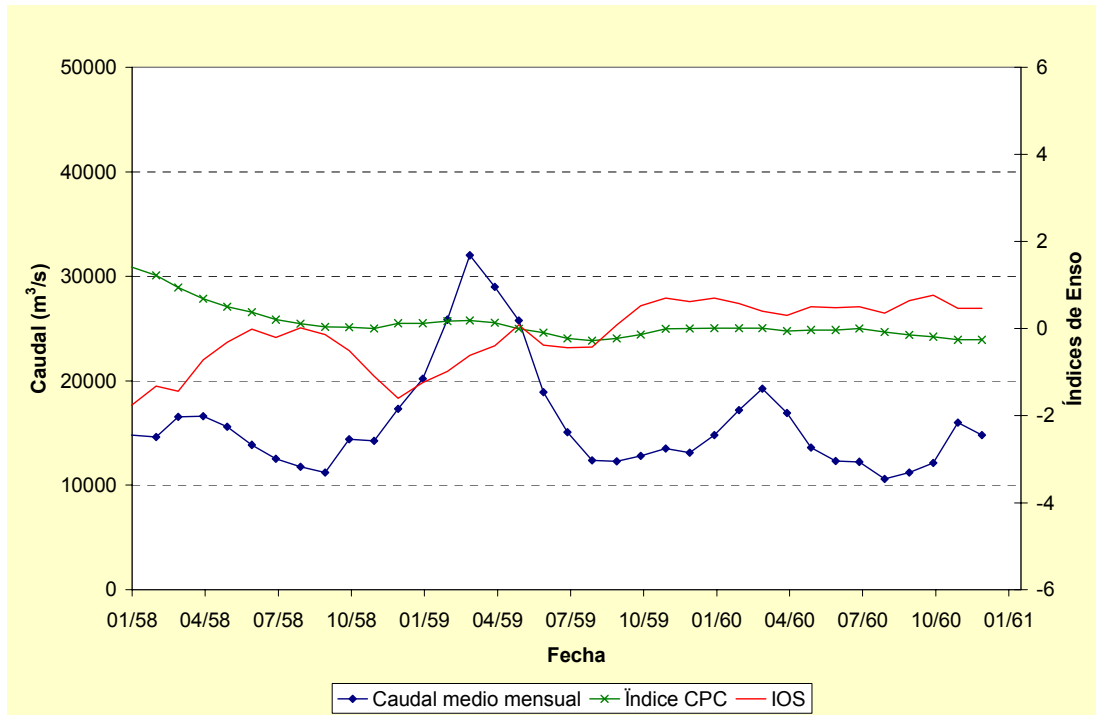


Figura 4.12 Crecida de 1959 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

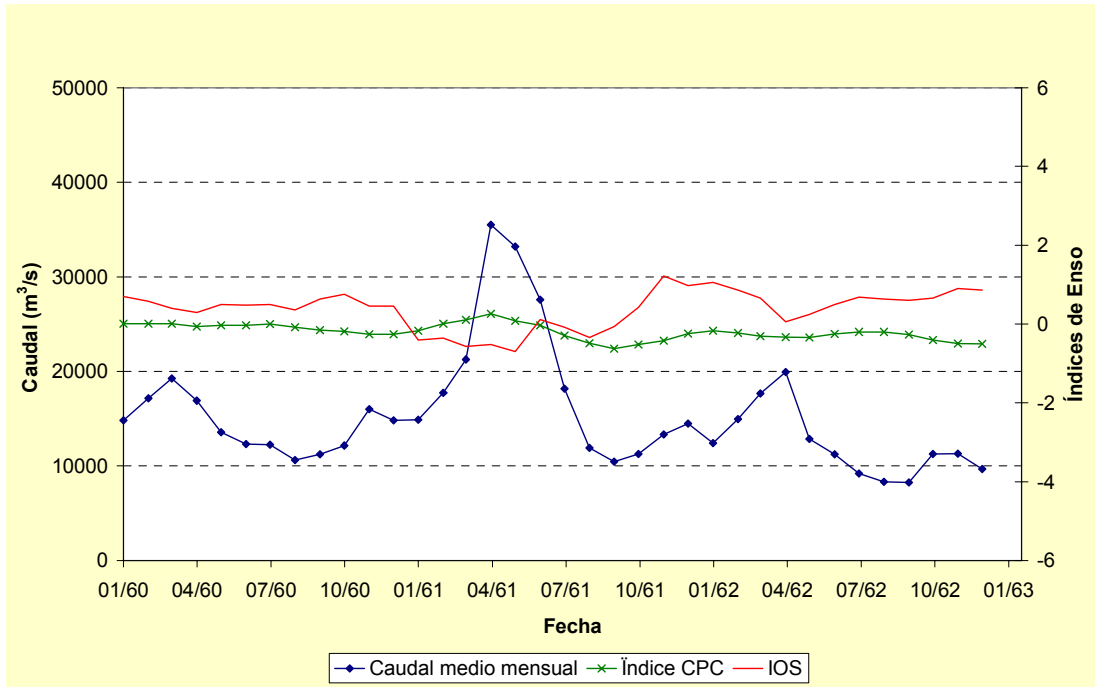


Figura 4.13 Crecida de 1961 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

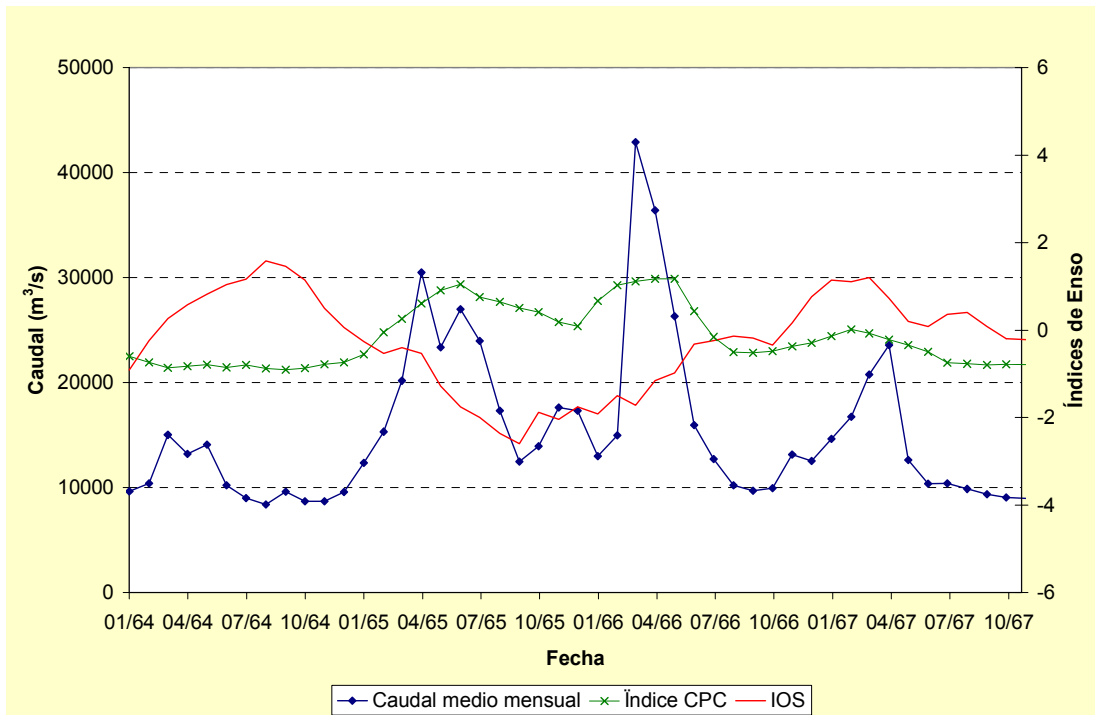


Figura 4.14 Crecidas de 1965 y 1966 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

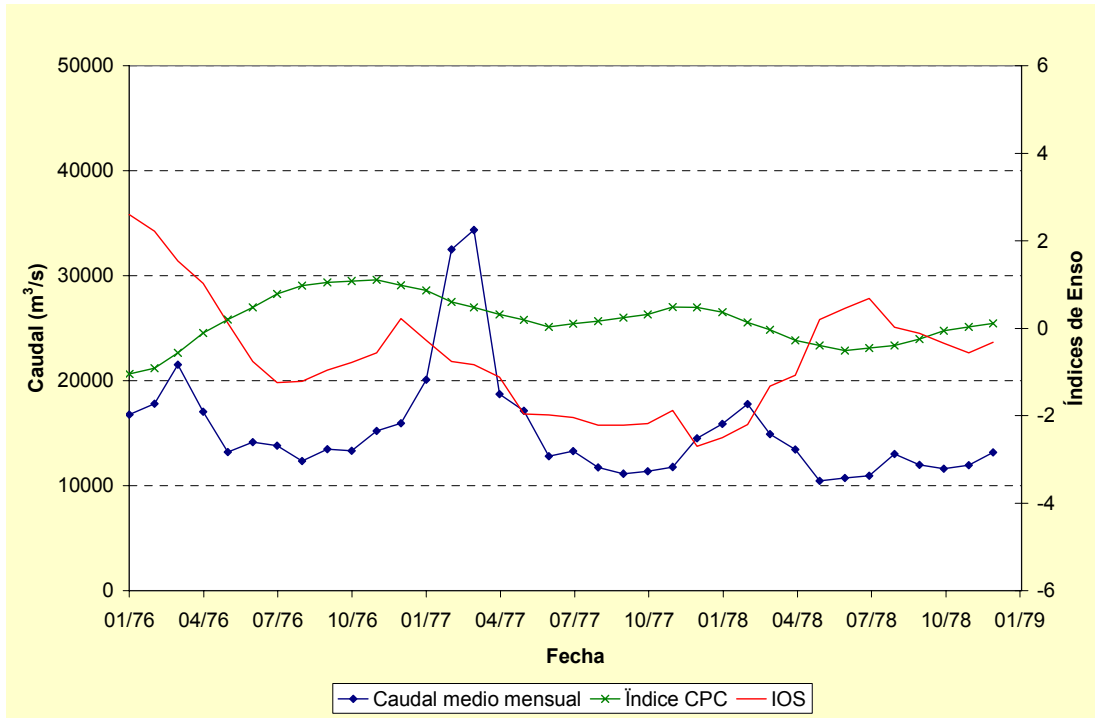


Figura 4.15 Crecida de 1977 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

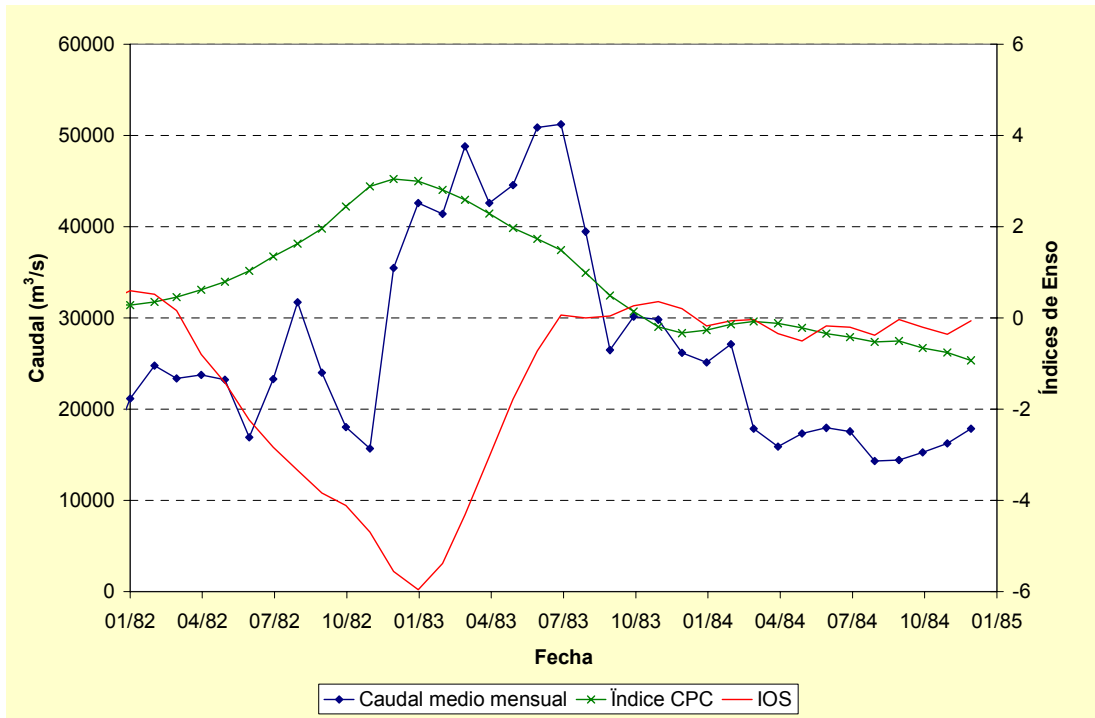


Figura 4.16 Crecida de 1982-83 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

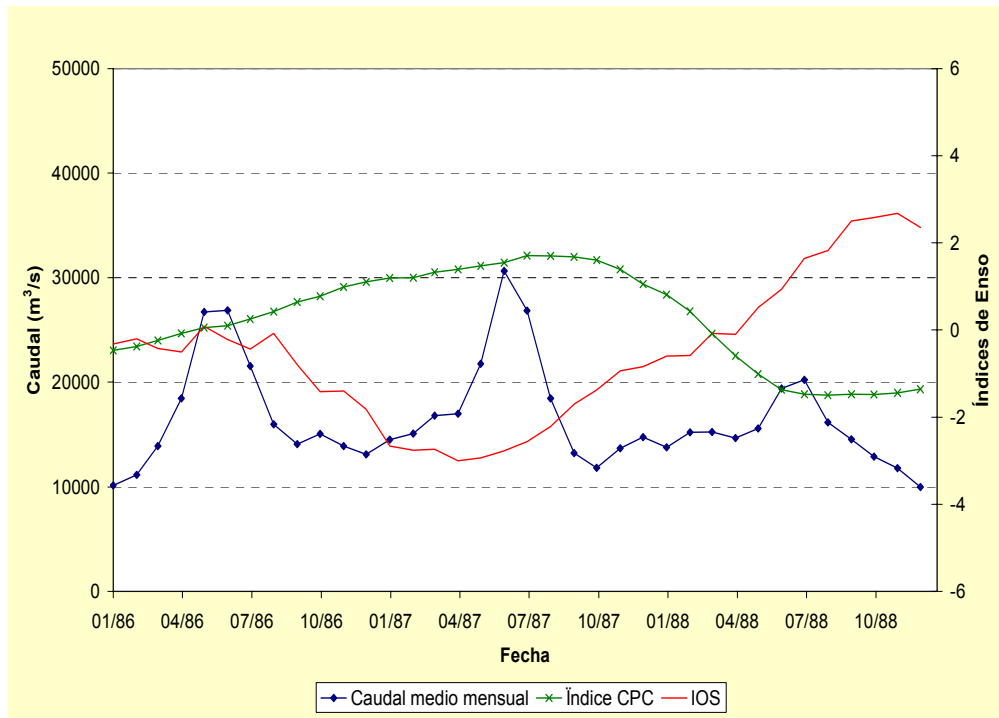


Figura 4.17 Crecida de 1987 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

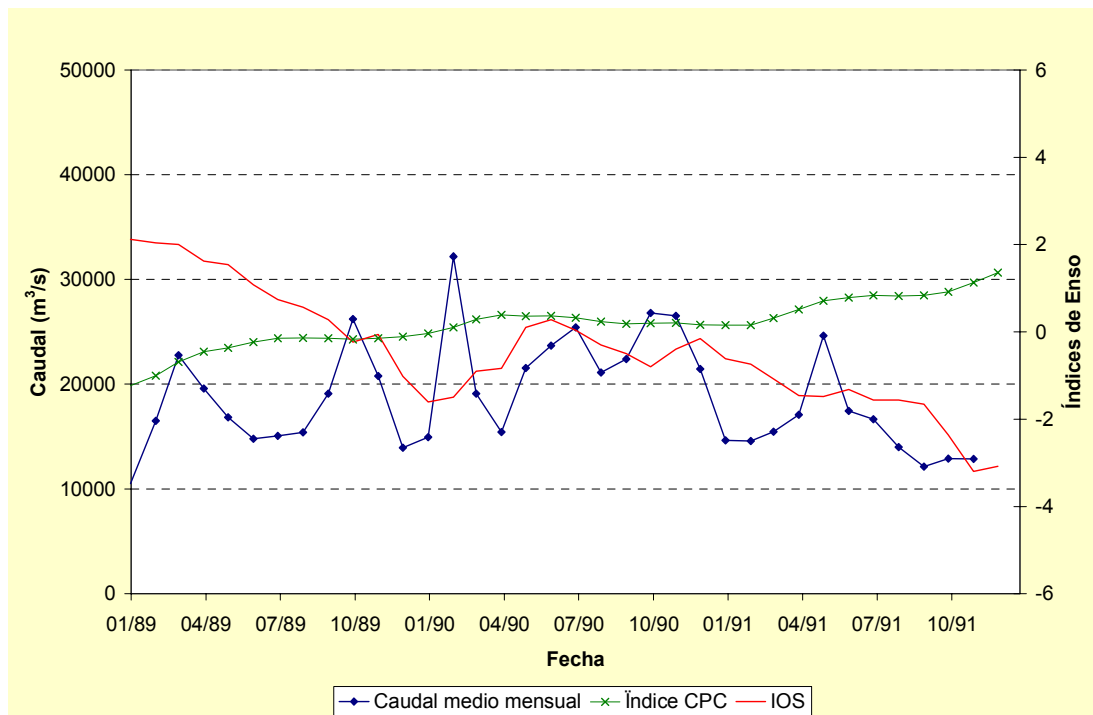


Figura 4.18 Crecida de 1989/90 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

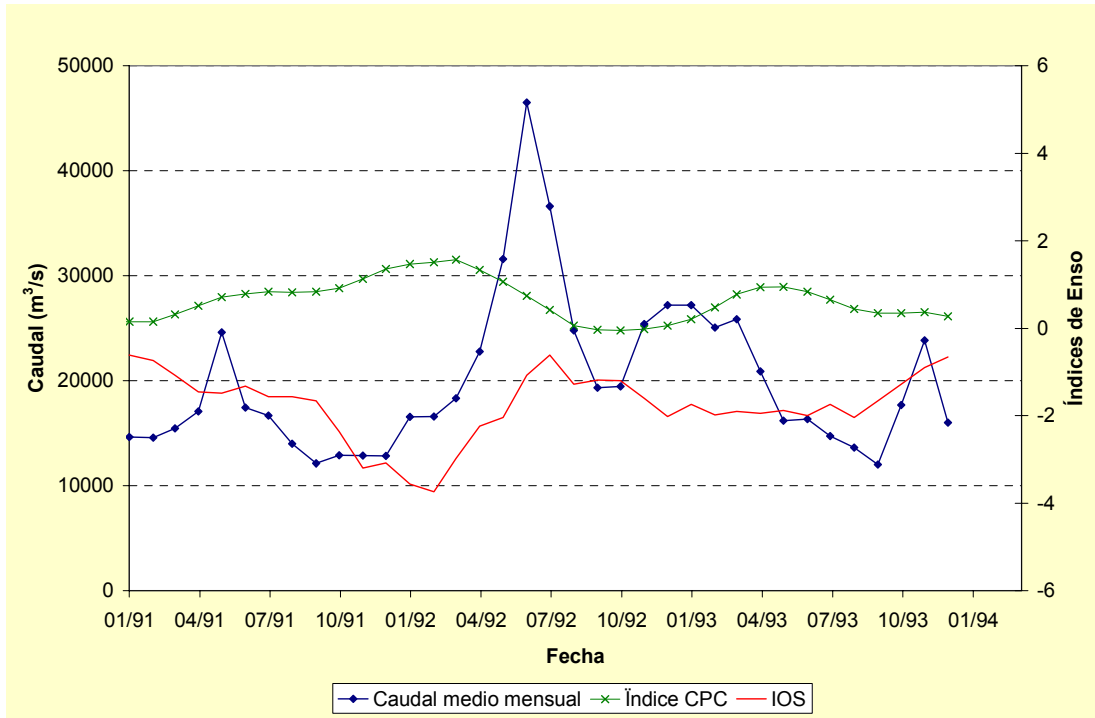


Figura 4.19 Crecida de 1992 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

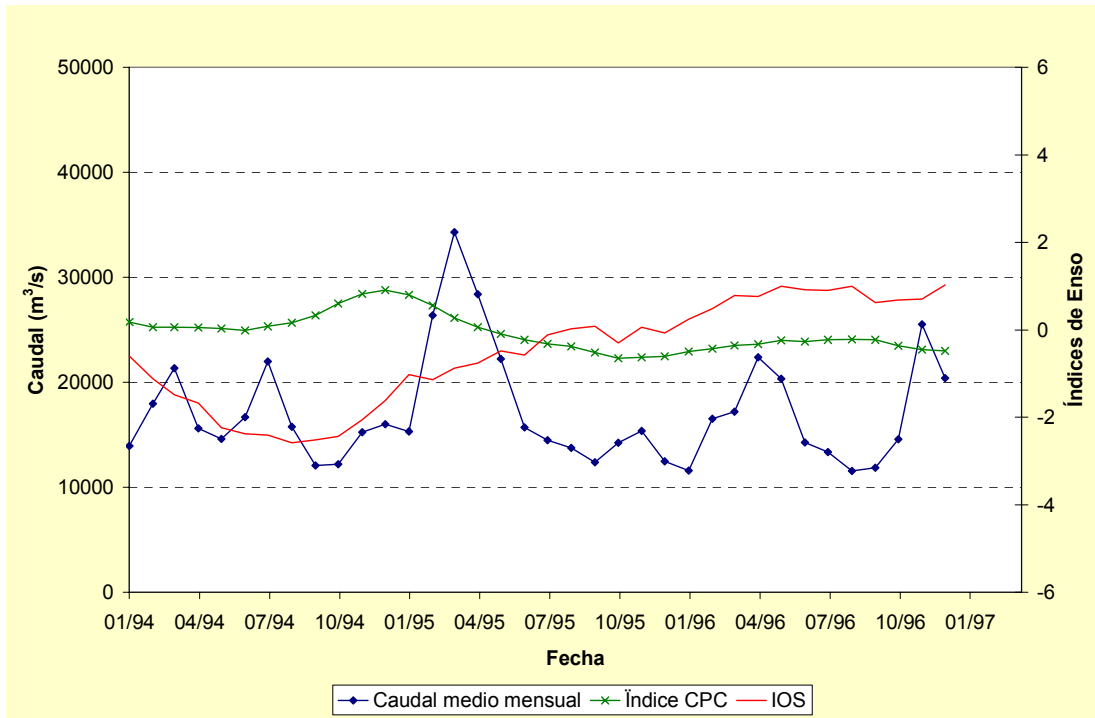


Figura 4.20 Crecida de 1995 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

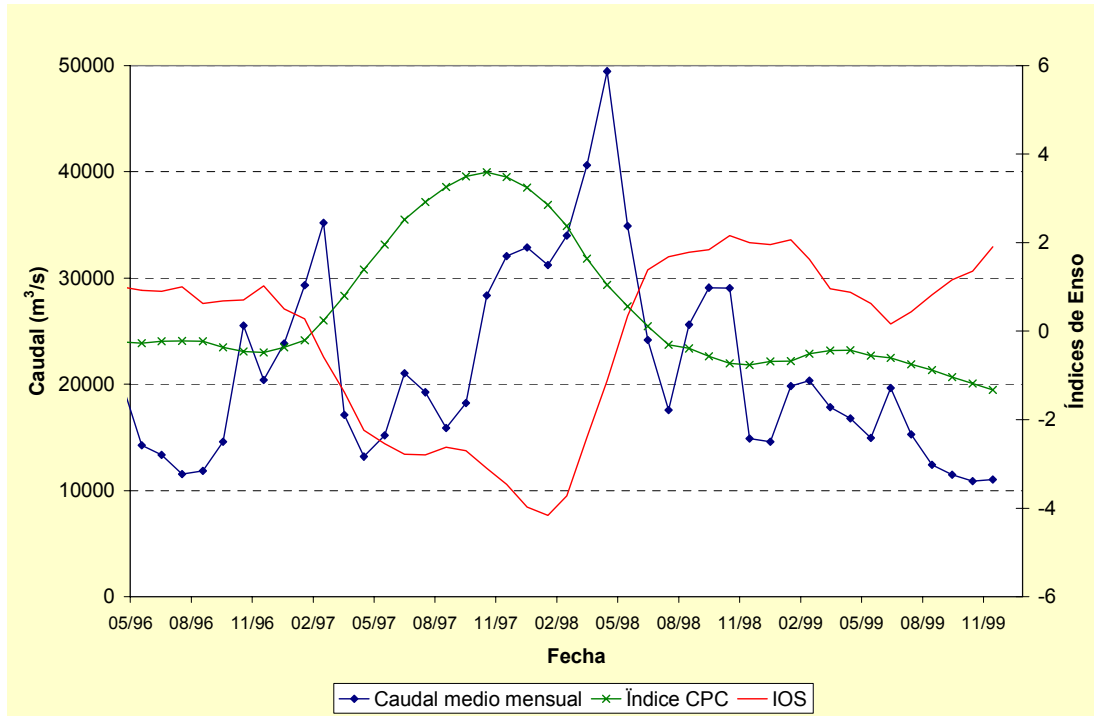


Figura 4.21 Crecida de 1997-98 del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

La observación de estas figuras permite advertir, en general, una respuesta positiva del caudal del río hacia los estímulos de El Niño, pero con gran variabilidad temporal, en concordancia con lo establecido respecto de precipitaciones por sobre la normal durante los veranos con fenómenos El Niño en el Pacífico suroriental (Mechoso y Pérez Iribarren, 1992).

En la tabla 4.3 se presentan los valores mensuales de índice de anomalías de la temperatura de la superficie del mar para el año en el que se presentó la crecida y el año anterior a la misma. En la tabla 4.4 se detallan los valores mensuales del Índice de Oscilación del Sur. Los valores faltantes en este registro se han completado con valores divulgados por Climate Research Unit, University of East Anglia, U.K. (www.cru.ues.ac.uk/datasets.html).

En las tablas 4.5 y 4.6 se presentan los valores de los índices trimestrales de anomalías de TSM y el IOS para los mismos períodos.

Tabla 4.3
Valores mensuales del índice de anomalías de TSM en los períodos de las crecidas del Río Paraná

N°	Año (-1)												Año (0)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-0.8	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.3	0.6	0.8	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
2	-1.0	-1.0	-1.0	-0.9	-0.7	-0.3	0.2	0.5	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	0.6	0.3	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1
3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5	-0.8	-0.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	-0.3
4	-0.5	-0.8	-0.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	-0.3	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-0.9	-0.9
5	-0.4	-0.3	-0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	1.5	1.6	1.6	1.3	1.1	1.0	0.7	0.6	0.5	0.3	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.2
6	0.4	0.4	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.5
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.6	1.9	1.9	1.9	1.7	1.3	0.9	0.5	0.3	-0.1	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1
8	1.9	1.7	1.3	0.9	0.5	0.3	-0.1	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.2	0.6	0.9	0.9	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.3
9	-0.2	0.1	0.5	0.6	0.6	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
10	-0.9	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.1	0.0	-0.3	-0.4	-0.7	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.6	-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	0.0	-0.1
11	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.3	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.1	1.1	1.0	0.9
12	-1.0	-0.7	-0.4	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4
13	1.4	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2
15	0.6	0.2	-0.3	-0.7	-0.8	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.4
16	-0.5	-0.3	0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.4	1.2	0.9	0.4	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3
17	-1.1	-0.9	-0.6	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.6	0.5	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5
18	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.4	1.6	2.0	2.4	2.9	3.1	3.0	2.8	2.6	2.3	2.0	1.7	1.5	1.0	0.5	0.1	-0.2	-0.3
19	-1.2	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
20	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.1	1.4	1.5	1.5	1.6	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1
21	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	0.9	0.8	0.6	0.3	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.7	-0.6	-0.6
22	-0.4	-0.2	0.2	0.8	1.4	2.0	2.5	2.9	3.3	3.5	3.6	3.5	3.2	2.9	2.4	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8

Tabla 4.4
Valores del índice de Oscilación del Sur (IOS) en los períodos de las crecidas del Río Paraná

Nº	Año (-1)												Año (0)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	2.1	2.9	2.5	1.7	0.8	0.4	-0.3	-0.6	-0.9	-0.6	-0.9	-1.8	-2.9	-3.4	-4.5	-4.9	-4.7	-3.8	-3.0	-2.3	-2.1	-2.0	-1.9	-2.1
2	1.4	0.8	0.0	-0.4	-0.9	-1.4	-1.7	-2.0	-1.9	-1.6	-1.6	-2.1	-2.1	-2.3	-2.5	-2.2	-1.5	-1.5	-1.1	-1.0	-0.8	-1.1	-1.0	-1.1
3	-1.2	-0.8	-0.5	-0.4	0.0	0.4	0.6	0.5	0.3	0.4	0.8	0.8	2.4	1.1	1.1	-1.3	0.0	4.1	0.4	-1.3	0.5	0.7	1.2	1.4
4	2.4	1.1	1.1	-1.3	0.0	4.1	0.4	-1.3	0.5	0.7	1.2	1.4	1.3	0.9	0.5	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.9	1.1	1.1
5	1.7	1.7	1.5	1.2	0.2	-0.7	-1.2	-1.7	-1.9	-1.8	-2.1	-2.9	-3.3	-3.4	-3.5	-3.4	-2.7	-2.5	-2.3	-2.1	-1.9	-1.7	-0.9	-0.6
6	0.4	1.0	0.7	0.9	0.5	0.3	0.3	0.7	0.9	1.4	1.7	2.2	2.0	2.1	1.3	0.7	0.1	-0.1	-0.3	0.3	0.6	0.7	1.2	1.5
7	1.3	0.9	0.7	0.1	-0.4	-0.5	-0.7	-0.6	-0.3	-0.3	0.1	-0.3	-0.3	-0.1	0.4	0.5	1.5	1.7	1.8	0.4	-1.0	-0.4	0.8	0.4
8	-0.3	-0.1	0.4	0.5	1.5	1.7	1.8	0.4	-1.0	-0.4	0.8	0.4	0.2	-0.4	-0.7	-2.8	0.1	-0.3	-1.5	-0.9	-1.9	-0.9	-1.2	-0.7
9	0.6	0.6	0.2	0.2	0.3	-0.5	-0.9	-0.6	-0.6	-0.8	0.3	0.3	0.6	0.4	0.4	0.1	0.3	-0.1	0.0	0.4	0.5	0.3	0.2	-0.1
10	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.9	0.9	0.6	0.7	0.3	0.1	-0.1	-0.2	-0.7	-0.8	-1.3	-1.3	-1.7	-1.8	-1.7	-1.6	-1.7	-1.3
11	1.5	2.1	2.0	2.5	2.5	2.2	2.1	2.4	2.1	2.3	2.5	2.5	1.7	1.1	-0.1	-0.7	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7	-1.9	-1.8	-1.9	-1.9
12	2.0	1.8	1.9	1.7	1.6	1.6	1.3	1.5	1.3	1.3	1.2	1.0	0.3	0.3	-0.4	-0.7	-0.5	-0.7	-1.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.8	-1.7
13	-1.8	-1.3	-1.4	-0.7	-0.3	0.0	-0.2	0.0	-0.1	-0.5	-1.1	-1.6	-1.2	-1.0	-0.6	-0.4	0.1	-0.4	-0.4	-0.4	0.1	0.5	0.7	0.6
14	0.7	0.6	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.8	0.5	0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.5	-0.7	0.1	-0.1	-0.3	-0.1	0.4	1.2	1.0
15	-0.9	-0.2	0.3	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	1.5	1.1	0.5	0.1	-0.3	-0.5	-0.4	-0.5	-1.3	-1.8	-2.0	-2.4	-2.6	-1.9	-2.0	-1.8
16	-0.3	-0.5	-0.4	-0.5	-1.3	-1.8	-2.0	-2.4	-2.6	-1.9	-2.0	-1.8	-1.9	-1.5	-1.7	-1.2	-1.0	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	0.2	0.8
17	2.6	2.2	1.5	1.0	0.1	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-0.8	-0.6	0.2	-0.3	-0.8	-0.8	-1.1	-2.0	-2.0	-2.0	-2.2	-2.2	-2.2	-1.9	-2.7
18	0.6	0.5	0.2	-0.8	-1.4	-2.2	-2.8	-3.3	-3.8	-4.1	-4.7	-5.6	-6.0	-5.4	-4.3	-3.0	-1.8	-0.7	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2
19	2.1	2.0	2.0	1.6	1.5	1.1	0.7	0.6	0.3	-0.2	-0.1	-1.0	-1.6	-1.5	-0.9	-0.8	0.1	0.3	0.0	-0.3	-0.5	-0.8	-0.4	-0.2
20	-0.6	-0.7	-1.1	-1.5	-1.5	-1.3	-1.6	-1.6	-1.7	-2.4	-3.2	-3.1	-3.6	-3.7	-3.0	-2.2	-2.0	-1.1	-0.6	-1.3	-1.2	-1.2	-1.6	-2.0
21	-0.6	-1.1	-1.5	-1.7	-2.2	-2.4	-2.4	-2.6	-2.5	-2.4	-2.1	-1.6	-1.0	-1.1	-0.9	-0.8	-0.5	-0.6	-0.1	0.0	0.1	-0.3	0.1	-0.1
22	0.5	0.3	-0.6	-1.4	-2.2	-2.5	-2.8	-2.8	-2.6	-2.7	-3.1	-3.5	-4.0	-4.2	-3.7	-2.4	-1.1	0.3	1.4	1.7	1.8	1.8	2.2	2.0

Tabla 4.5
Valores trimestrales del Índice de anomalías de TSM en los períodos de las crecidas del Río Paraná

Crecida		Año (-1)				Año (0)			
Nº	Caudal (m³/s)	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS	OND
1	46777	-0.7	-0.1	0.8	0.8	0.8	1.3	1.4	1.2
2	34550	-1.0	-0.6	0.5	1.2	1.2	0.3	-0.1	-0.1
3	34187	0.6	0.2	0.0	-0.2	-0.7	-0.6	-0.1	-0.2
4	28078	-0.7	-0.6	-0.1	-0.2	-0.5	-0.8	-0.9	-0.9
5	28418	-0.3	0.4	1.1	1.6	1.1	0.6	0.1	0.0
6	38612	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	0.5	0.6
7	32193	0.5	0.7	1.2	1.8	1.6	0.6	-0.2	-0.3
8	28967	1.6	0.6	-0.2	-0.3	0.6	0.9	0.5	0.2
9	29139	0.1	0.7	0.4	0.0	-0.1	0.1	0.3	0.3
10	30107	-0.7	-0.2	-0.1	-0.7	-1.0	-0.7	-0.3	-0.1
11	31114	-1.1	-0.6	-0.4	-0.4	-0.1	0.4	0.9	1.0
12	28463	-0.7	-0.3	-0.5	-0.5	0.1	0.9	1.1	1.3
13	32005	1.2	0.5	0.1	0.1	0.2	0.0	-0.2	-0.1
14	35503	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.1	-0.5	-0.4
15	30477	0.1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2	0.8	1.3	1.5
16	42906	-0.2	0.8	1.3	1.5	0.8	0.1	-0.2	-0.3
17	34341	-0.8	0.2	0.9	1.1	0.6	0.2	0.2	0.4
18	51230	0.4	0.8	1.6	2.8	2.8	2.0	1.0	-0.1
19	32187	-1.0	-0.4	-0.1	-0.1	0.1	0.4	0.2	0.2
20	46506	0.2	0.7	0.8	1.1	1.5	1.0	0.1	0.0
21	34297	0.1	0.0	0.2	0.8	0.5	-0.1	-0.4	-0.6
22	49451	-0.1	1.4	2.9	3.5	2.8	1.1	-0.2	-0.7

Tabla 4.5
Valores trimestrales del índice de Oscilación del Sur (IOS) en los períodos de las crecidas del Río Paraná

Crecida		Año (-1)				Año (0)			
Nº	Caudal (m³/s)	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS	OND
1	46777	2.5	1.0	-0.6	-1.1	-3.6	-4.6	-2.4	-2.0
2	34550	0.7	-0.9	-1.9	-1.8	-2.3	-1.8	-1.0	-1.1
3	34187	-0.8	0.0	0.5	0.6	1.5	0.9	-0.1	1.1
4	28078	1.5	0.9	-0.1	1.1	0.9	0.0	0.3	1.0
5	28418	1.7	0.2	-1.6	-2.3	-3.4	-2.9	-2.1	-1.0
6	38612	0.7	0.6	0.6	1.8	1.8	0.2	0.2	1.2
7	32193	1.0	-0.3	-0.5	-0.2	0.0	1.3	0.4	0.3
8	28967	0.0	1.3	0.4	0.3	-0.3	-1.0	-1.4	-0.9
9	29139	0.5	0.0	-0.7	-0.1	0.5	0.1	0.3	0.1
10	30107	0.7	0.5	0.8	0.4	-0.3	-1.2	-1.7	-1.5
11	31114	1.9	2.5	2.2	2.4	0.9	-1.2	-1.7	-1.8
12	28463	1.9	1.7	1.4	1.1	0.0	-0.7	-1.0	-1.6
13	32005	-1.5	-0.4	-0.1	-1.1	-0.9	-0.2	-0.3	0.6
14	35503	0.6	0.4	0.5	0.6	-0.4	-0.4	-0.2	0.9
15	30477	-0.3	0.8	1.4	0.6	-0.4	-1.2	-2.3	-1.9
16	42906	-0.4	-1.2	-2.3	-1.9	-1.7	-0.8	-0.2	0.2
17	34341	2.1	0.1	-1.1	-0.4	-0.6	-1.7	-2.1	-2.3
18	51230	0.4	-1.5	-3.3	-4.8	-5.2	-1.9	0.0	0.3
19	32187	2.1	1.4	0.5	-0.4	-1.3	-0.2	-0.2	-0.5
20	46506	-0.8	-1.5	-1.6	-2.9	-3.4	-1.8	-1.0	-1.6
21	34297	-1.1	-2.1	-2.5	-2.0	-1.0	-0.6	0.0	-0.1
22	49451	0.1	-2.1	-2.7	-3.1	-3.9	-1.1	1.6	2.0

Las anomalías de TSM antecedentes a las crecidas producidas en 1921-22, 1929, 1935, 1946, 1959, 1961 y 1990 corresponden a la clasificación de neutras. En particular se observa que los picos de las crecidas de 1951, 1961 y 1965 anteceden a las anomalías máximas de TSM de El Niño 1951, sin una respuesta posterior. A excepción de éstas, que no se asocian a eventos Niño precedentes, en todas las crecidas restantes seleccionadas se evidencia la respuesta del caudal a las anomalías cálidas de TSM, destacándose por su

magnitud las grandes crecidas de 1982/83 y 1997/98, asociadas a severos eventos El Niño de varios meses de permanencia.

La crecida de 1997-98 fue uno de los más fuertes eventos del siglo y ha sido vinculada a las anomalías de TSM de 1997 y los 3 primeros meses de 1998, que sobrepasaron aún las de 1982. El evento de 1982/83 fue consecuencia de anomalías de caudal excesivamente altas no sólo en el Paraná sino también en los ríos Iguazú y Paraguay, relacionadas a anomalías de TSM altas que perduraron por más de un año y que determinaron la permanencia del evento, en el cual los caudales superaron los 30.000 m³/s durante 252 días en la estación Santa Fe-Paraná.

Analizando la señal de IOS se observa que los máximos de caudal en las crecidas de 1912, 1931, 1946, 1951, 1961 y 1965 se alcanzan antes de presentarse los valores mínimos de IOS y que las crecidas de 1921-22 y 1929 se vinculan a valores antecedentes de IOS positivos

4.3 RELACIÓN ENTRE EL NIÑO Y LAS GRANDES CRECIDAS

Con el propósito de estudiar la posibilidad de definir una relación entre los caudales máximos de las crecidas del Paraná y los volúmenes escurridos durante las mismas y los índices climáticos de ENSO antecedentes al episodio, se seleccionaron de entre las 22 identificadas inicialmente, aquellas cuyos caudales máximos fueron posteriores a anomalías de TSM cálidas o a valores de IOS negativos. De esta manera, se filtran las crecidas motorizadas por fenómenos distintos al de El Niño.

El cálculo del volumen escurrido durante las crecidas es la forma de considerar a las crecidas como eventos completos, dando importancia tanto a sus picos como a su duración. Para ello se eligió un valor de base de 20000 m³/s, un promedio entre los caudales alto (percentil 25 de superación) y medio para el ciclo 1971-2001.

En la tabla 4.6 se muestran las crecidas seleccionadas (su caudal máximo y el volumen excedente del valor de 20000 m³/s), junto al máximo índice de TSM antecedente al caudal máximo de la crecida y el mes en que se verifica. En la tabla 4.7 se hace lo propio con el mínimo valor del índice IOS previo al episodio de crecida.

Para calcular el volumen de la gran crecida de 1982/83 se consideraron los caudales entre noviembre de 1982 y noviembre de 1983. Con posterioridad a esa fecha aparece una nueva onda de caudales superiores a 20000 m³/s, pero no se observa un repunte en los valores de anomalías de TSM descendentes a partir de diciembre de 1982, ni un nuevo mínimo de IOS después de enero de 1983.

Como ha sido señalado por Camilloni y Barros (2000) un patrón de anomalías de TSM en el Atlántico Sur durante enero, con aguas cálidas en el norte de la SACZ (Zona de Convergencia del Atlántico Sur) y aguas frías al sur, se asocia con un incremento de la convección sobre la cuenca del Paraná Superior. Anomalías positivas al oeste de 200 W también están estadísticamente asociadas con anomalías de convección positivas en la cuenca del Paraná medio. De acuerdo a estas relaciones y al patrón de anomalías de TSM del Atlántico de enero del 83, era probable una convección incrementada sobre ambas cuencas y de hecho ocurrió contribuyendo a definir el pico secundario de este evento.

Tabla 4.6

Valores máximos antecedentes del índice de TSM a las crecidas del Río Paraná

Crecida	Caudal (m³/s)	Volumen (hm³)	Índice JMA máximo antecedente	Fecha JMA máxima	Retardo (meses)
Jun-05	46777	261729	1.40	Jun-05	0
Ene-12	34550	106058	1.30	Nov-11	2
Mar-26	28418	43233	1.60	Nov-25	4
Abr-31	32193	136946	1.90	Oct-30	6
May-32	28967	63804	1.00	May-32	0
Oct-57	28463	37141	1.29	Oct-57	0
Mar-77	34341	109670	1.10	Nov-76	4
Jul-83	51230	614519	3.05	Dic-82	7
Jun-92	46506	184944	1.56	Mar-92	3
Mar-95	34297	75670	0.91	Dic-94	3
May-98	49451	326941	3.59	Nov-97	6

Tabla 4.7

Valores mínimos antecedentes del índice IOS a las crecidas del Río Paraná

Crecida	Caudal (m³/s)	Volumen (hm³)	Índice IOS mínimo antecedente	Fecha IOS mínimo	Retardo (meses)
Jun-05	46777	261729	-4.90	Abr-05	2
May-32	28967	63804	-2.80	Abr-32	1
Mar-59	32005	23650	-1.60	Dic-58	3
Mar-66	42906	62449	-2.60	Sep-65	6
Mar-77	34341	109670	-1.20	Jun-76	8
Jul-83	51230	614519	-6.00	Ene-83	6
Feb-90	32187	25879	-1.60	Ene-90	1
Jun-92	46506	184944	-3.70	Feb-92	4
Mar-95	34297	75670	-2.60	Ago-94	7
May-98	49451	326941	-4.20	Feb-98	3

Sobre la base de esta selección, se procedió a establecer la regresión entre los caudales máximos asociados a las crecidas y los valores máximos del índice de TSM y mínimos del IOS antecedentes. Estas relaciones se presentan en las figuras 4.22 y 4.23. En las figuras

4.24 y 4.25 se hace lo propio con los volúmenes escurridos calculados para caudales superiores a 20000 m³/s.

En todas ellas, se distinguen los valores correspondientes a los tres ciclos identificados en el régimen del río Paraná y se incorpora la función de mejor ajuste entre los datos, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación se detallan en la tabla 4.8.

Tabla 4.8
Relaciones entre índices de ENSO y las crecidas extraordinarias del Río Paraná en Paraná-Santa fe

<i>x</i> \ <i>y</i>	Q máximo (m³/s)	Volumen (hm³)
Índice de TSM máximo antecedente	$y = 1550,5 x^2 + 32227$ $R^2 = 0,46$	$y = 33153 x^2 + 60259$ $R^2 = 0,57$
Índice IOS mínimo antecedente	$y = 592,1 x^2 + 32642$ $R^2 = 0,69$	$y = 15409 x^2 + 1813,9$ $R^2 = 0,94$

Se advierte que la vinculación con el valor del IOS mínimo antecedente es mejor tanto para los caudales como para los volúmenes excedentes. Por otro lado, se evidencia que para ambas variables independientes la relación con los volúmenes de exceso es mejor que aquella establecida para los caudales máximos. Esta relación es intuitivamente más interesante que aquella basada sólo en el caudal máximo, ya que la incidencia y severidad de las crecidas dependen no sólo del caudal máximo sino del tiempo durante el cual estas se desarrollan y de la forma de su hidrograma, resultando por lo tanto el parámetro más adecuado para evaluar la real respuesta integrada (de su diversidad fisiográfica, hidrometeorológica e hidrográfica) de la cuenca a los eventos de precipitación.

El mismo análisis fue efectuado para investigar la relación entre los parámetros de las crecidas seleccionadas (caudal máximo mensual y volumen excedente) con los valores trimestrales de los índices de anomalías de TSM y de Oscilación del Sur. Tales índices fueron calculados como el promedio de los valores mensuales, considerando la división en trimestres a partir del inicio del año, ya que esta división proporciona mejores coeficientes de correlación entre anomalías de TSM y caudales medios mensuales, como fue mostrado en el capítulo 3.

Las tablas 4.9 y 4.10 resumen los máximos valores trimestrales antecedentes a la ocurrencia de las crecidas de los índices de anomalías de TSM e IOS, respectivamente. Se detalla en estas tablas el trimestre en el que se produce la anomalía máxima y el tiempo de retardo del caudal máximo respecto a la misma.

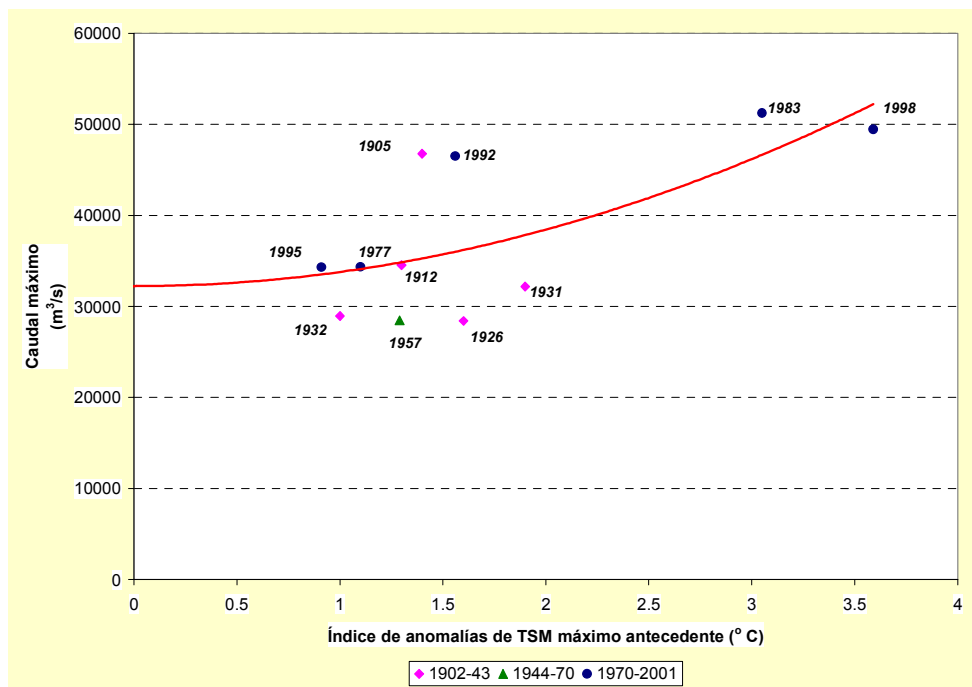


Figura 4.22 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice de anomalías de TSM máximo antecedente

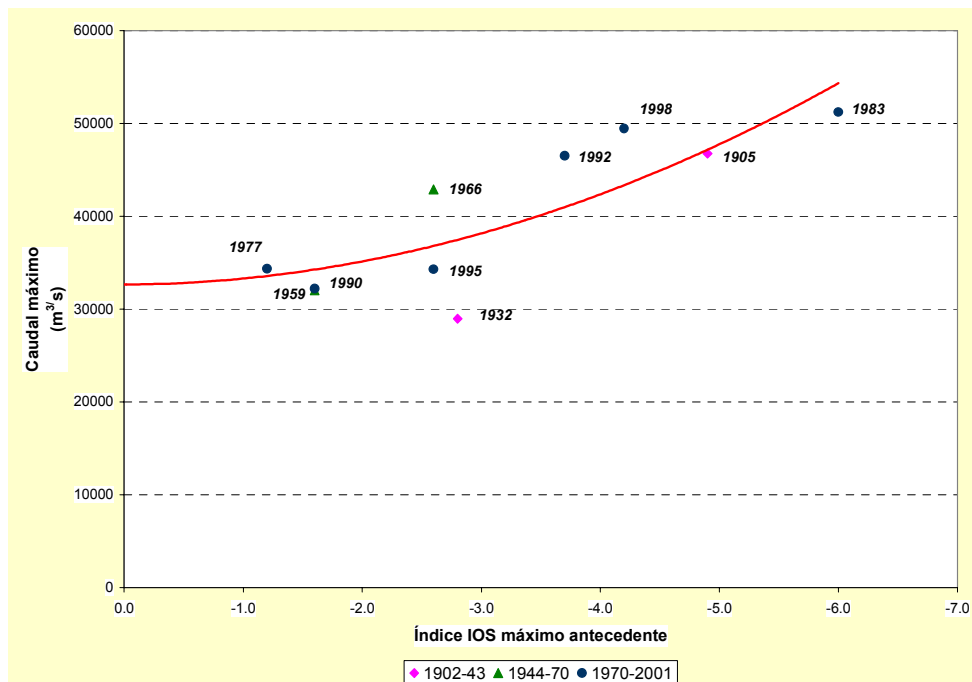


Figura 4.23 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS mínimo antecedente

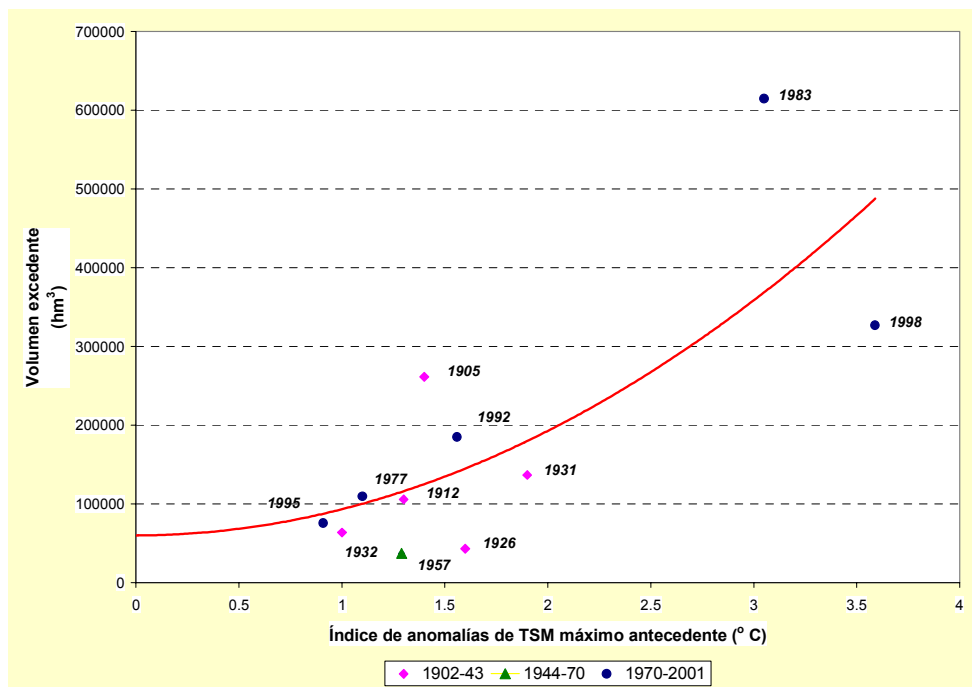


Figura 4.24 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice de anomalías de TSM máximo antecedente

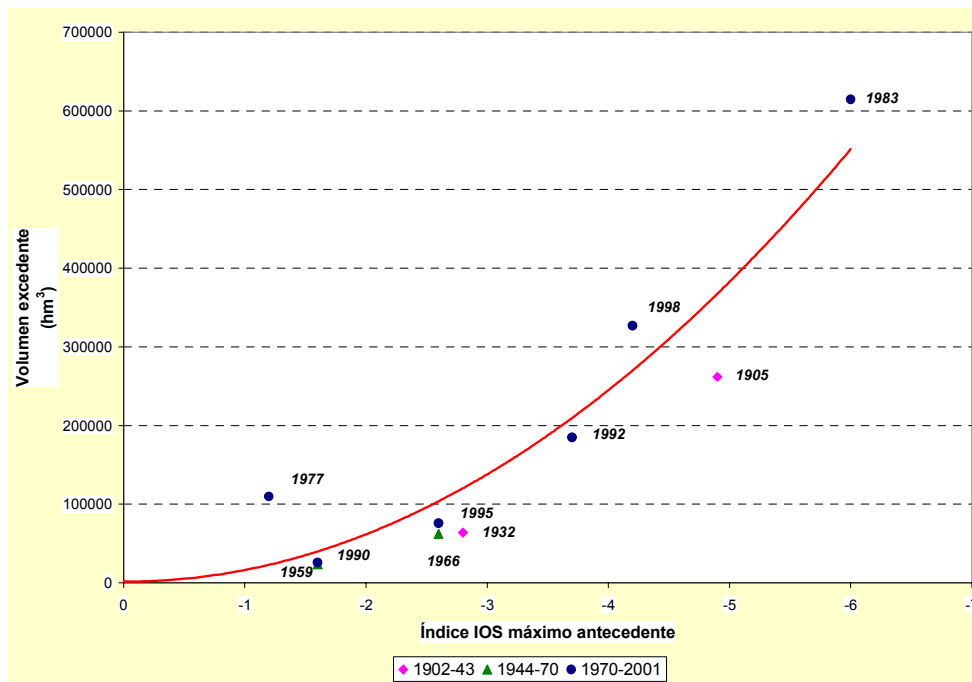


Figura 4.25 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS mínimo antecedente

Tabla 4.9

Valores máximos trimestrales antecedentes del índice de TSM a las crecidas del Río Paraná

Crecida	Caudal (m³/s)	Volumen (hm³)	Índice de TSM trimestral máximo antecedente	Fecha Índice de TSM trimestral máximo	Retardo (trimestre)
Jun-05	46777	261729	1.27	AMJ 1905	0
Ene-12	34550	106058	1.23	OND 1911	1
Mar-26	28418	43233	1.60	OND 1925	2
Abr-31	32193	136946	1.80	OND 1930	2
May-32	28967	63804	0.90	AMJ 1932	0
Oct-57	28463	37141	1.34	OND 1957	0
Mar-77	34341	109670	1.05	OND 1976	1
Jul-83	51230	614519	2.80	OND 1982	3
Jun-92	46506	184944	1.51	EFM 1992	1
Mar-95	34297	75670	0.78	OND 1994	1
May-98	49451	326941	3.52	OND 1997	2

Tabla 4.10

Valores mínimos trimestrales antecedentes del índice IOS a las crecidas del Río Paraná

Crecida	Caudal (m³/s)	Volumen (hm³)	Índice IOS trimestral mínimo antecedente	Fecha IOS trimestral mínimo	Retardo (trimestres)
Jun-05	46777	261729	-4.60	AMJ 1905	0
May-32	28967	63804	-1.00	AMJ 1932	0
Mar-59	32005	23650	-1.10	OND 1958	1
Mar-66	42906	62449	-2.30	JAS 1966	2
Mar-77	34341	109670	-1.10	JAS 1977	2
Jul-83	51230	614519	-5.20	EFM 1983	2
Feb-90	32187	25879	-1.30	EFM 1990	0
Jun-92	46506	184944	-3.4	EFM 1992	1
Mar-95	34297	75670	-2.5	JAS 1994	2
May-98	49451	326941	-3.9	EFM 1998	1

Esta información ha sido volcada en las figuras 4.26 y 4.27, en las que se presenta la relación entre el caudal máximo y los índices trimestrales previos máximos (en valor absoluto), y en las figuras 4.28 y 4.29, donde se vinculan los volúmenes excedentes con los mismos valores trimestrales. Las expresiones matemáticas de estas relaciones y los coeficientes de determinación se muestran en la tabla 4.11.

Tabla 4.11

Relaciones entre índices trimestrales de ENSO y las crecidas extraordinarias del Río Paraná en Paraná-Santa Fe

<i>x</i> \ <i>y</i>	Q máximo (m³/s)	Volumen(hm³)
Índice trimestral de TSM máximo antecedente	$y = 1590,3 x^2 + 32575$ $R^2 = 0,42$	$y = 33024 x^2 + 70877$ $R^2 = 0,49$
Índice trimestral IOS mínimo antecedente	$y = 732,51 x^2 + 33733$ $R^2 = 0,75$	$y = 18072 x^2 + 11982$ $R^2 = 0,88$

Se observa que la calidad de la relación definida para índices trimestrales es siempre inferior a la establecida con los valores mensuales de los índices, excepto en el caso de la vinculación entre el caudal mensual máximo y el índice IOS trimestral, que alcanza un valor de 0,75.

Como en el caso anterior (valores mensuales), el índice IOS trimestral parece un mejor predictor tanto del caudal máximo como del volumen excedente comparado con el índice trimestral de anomalías de TSM y, nuevamente, la vinculación entre los volúmenes de exceso y los índices trimestrales es más consistente que la que se establece para los caudales.

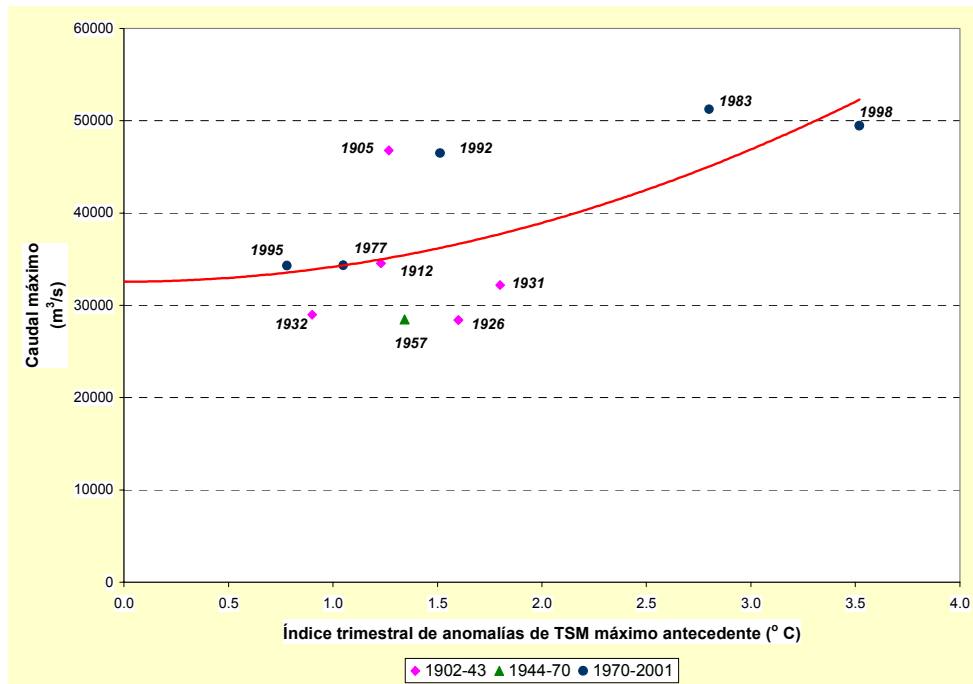


Figura 4.26 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice trimestral de anomalías de TSM máximo antecedente

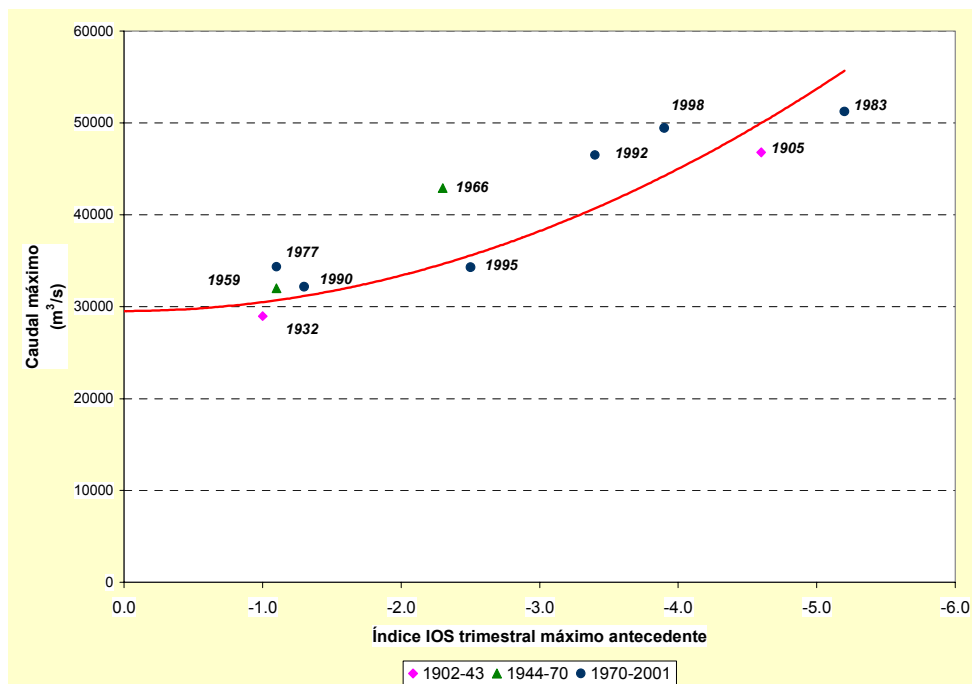


Figura 4.27 Relación entre caudales máximos de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS trimestral mínimo antecedente

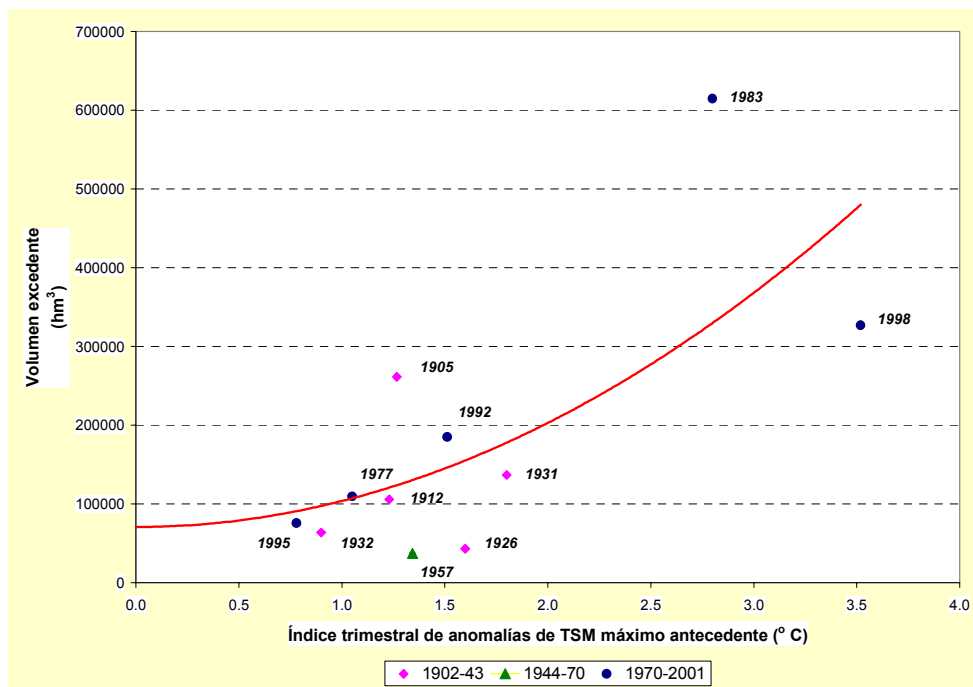


Figura 4.28 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice trimestral de anomalías de TSM máximo antecedente

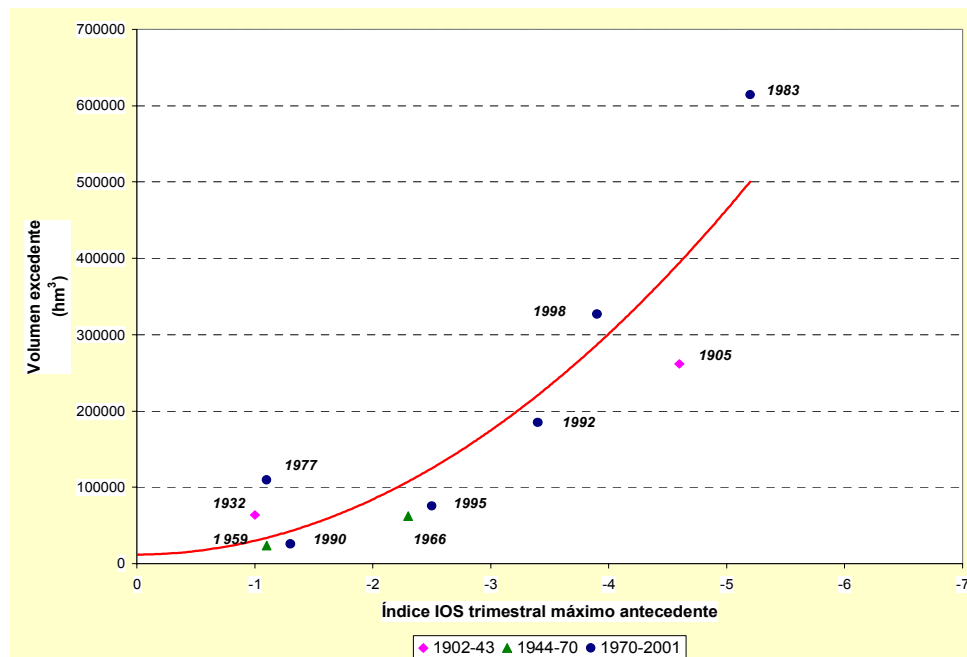


Figura 4.29 Relación entre volúmenes excedentes de las crecidas del Río Paraná y el índice IOS trimestral mínimo antecedente

5 CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

- El tiempo de retardo entre las anomalías de TSM y las de caudal medio mensual es de entre 3 y 5 meses. El correspondiente tiempo de retardo entre las anomalías de caudal trimestral y las anomalías trimestrales de TSM resulta de entre 1 y 2 trimestres, consistente con el resultado anterior.
- En general, las vinculaciones entre anomalías de caudal y anomalías de TSM en Niño 3 son mucho más intensas en el período 1971-2001 que en el que lo antecede.
- Durante el ciclo 1950-70 la mayor correlación se da entre la anomalía de caudal de noviembre y/o diciembre con la anomalía de TSM de mayo, lo que significa tiempos de retardo de entre 6 y 7 meses.
- Para el ciclo 1971-2001, la anomalía de caudal para la que se obtiene mayor correlación con la anomalía de TSM es la que corresponde al mes de junio, con un tiempo de retardo de 3 meses (anomalía de TSM de marzo). Al considerar las anomalías de caudal trimestral del mismo ciclo, la mejor correlación corresponde al trimestre AMJ vinculado a la anomalía de TSM de marzo. Finalmente, cuando se consideran ambos índices trimestrales, la mejor correlación se obtiene entre anomalías de caudal de AMJ con TSM de EFM (1 trimestre).
- Del análisis de contingencia categórica de eventos entre anomalías de caudal medio mensual y anomalías de TSM para los meses con mayor correlación, surge que existe una fuerte vinculación entre el fenómeno de El Niño y caudales por sobre lo normal.
- Para las grandes crecidas motorizadas por el fenómeno de El Niño, existe una muy alta correlación entre el volumen de exceso (por sobre 20.000 m³/s) y el IOS mínimo antecedente, la cual podría ser utilizada con fines de pronóstico. La correlación también es alta, aunque menor, entre el volumen de exceso y la TSM máxima antecedente.
- El volumen de exceso es un parámetro más significativo que el caudal medio mensual, ya que incluye también la duración de la crecida.

REFERENCIAS

1. Giacosa, R., Paoli, C. y Cacik, P., 2000: 'Conocimiento del Régimen Hidrológico', en "El Río Paraná en su Tramo Medio. Contribución al Conocimiento y Prácticas Ingenieriles en un Gran Río de Llanura", Capítulo 2. C. Paoli y M. Schreider, editores. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral, Ciudad de Santa Fe, República Argentina.
2. Motor Columbus y Asociados, 1979: 'Evaluación de daños atribuibles a las crecidas', Volumen 4 del estudio de crecidas de los ríos Paraná y Paraguay, Argentina.
3. Aisiks, E. G., 1984: 'La gran crecida del río Paraná de 1983', Techint, Boletín informativo N° 232, Buenos Aires.
4. Ceirano y otros, 1985: 'Evaluación de la crecida 1982-83 del río Paraná y su influencia sobre la estimación estadística de caudales máximos', AyEE.
5. S. W. Halcrow and Partners-SUCCE, 1994: 'Estudio de Regulación del Valle Aluvial de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el Control de Inundaciones'.
6. Paoli C., Bolzicco J. y Cacik, P., 1991: 'Análisis de Frecuencia de crecidas del Río Paraná', FICH-UNL (serie SAT 02/91), Santa Fe.
7. Paoli C., Bolzicco J. y Cacik, P., 1995: 'Aplicación de métodos robustos para la determinación de máximas crecidas del río Paraná', Revista internacional de Información Tecnológica, SIN 0716-8756 Vol. 6, N° 6, pp.169-178, Chile.
8. Paoli C., Bolzicco J. y Cacik, P., 1997: 'Incertidumbre en el análisis de extremos de grandes ríos, caso del Río Paraná, Argentina', III Congreso Internacional sobre Ingeniería Hidráulica, Holguín, Cuba.
9. Cacik, P. y Paoli, C., 1992: 'Información Histórica y outliers en Análisis de Frecuencia de Crecidas. Aplicación al Río Paraná', FICH-UNL (I+D), N° 05/92, Santa Fe.
10. Cacik, P. , Paoli, C. y Bolzicco J., 1993: 'Impacto de las últimas crecidas del Río Paraná en la determinación de caudales de diseño', Anales del Primer Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, X Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos, Tomo III, pp. 371-380, Gramado, Brasil.
11. Cacik, P. , Paoli, C. y Bolzicco J., 1997: 'Management of Paraná riverfloods under increasing uncertainty, 13th Conference on Hydrology and 7th Conference on Climate Variations, Joint Sessions, pp.J66-69, 77th AMS Annual Meeting, Long Beach, California, USA.
12. Camilloni I. y Barros V., 2000: 'The Paraná River Response to El Niño 1982-83 and 1997-98 Events', J. of Hydrometeorology, Vol 1, pp.412-430.

13. Camilloni I. y Barros V., 2001: 'Caudales máximos registrados en el Río Paraná durante el último siglo: Forzantes Climáticos, IV Diálogo Interamericano de Gerenciamiento de Aguas, Foz do Iguazú.
14. Ropelewski, C. H., and Halper, M. S., 1987: 'Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation', Mon. Wea. Rev., 115,1600-1626.
15. Vázquez, M. A., 1994: 'Diagnostic and prognostic Study of rainfall variability in paraguay in Connection with ENSO Events'. IRIP-TL-94/8.
16. Berri, G. J. (ed), 1996: 'El Niño Impact on Water Resources in Central and South America and New Methodologies of Practical Use to Seasonal and Interannual Hydrologic Forecast, IRIP-CR-SF96/1, International Research Institute for Climate Prediction (IRI), Palisades, New York, 99 p.
17. Grim, A. M., 1996a: 'Sea surfaces temperatures en the pacific and rainfall over part of Southern Brasil. Part I: Correlations', An. Acad. Bras. Ci., 68, pp.3-9.
18. Grim, A. M., 1996b: 'Sea surfaces temperatures en the pacific and rainfall over part of Southern Brasil. Part II: Dynamical Mechanisms', An. Acad. Bras. Ci., 68, pp.11-16.
19. Waylen, P. R. y Caviedes, C. N., 1990: 'Annual and Seasonal Fluctuations of Precipitatio and Streamflows in the Aconcagua River Basin, J. Hydrol., 120, pp.79-102.
20. Mechoso, C. and Perez Iribarren, G., 1992: 'Streamflow in Southeastern South America and the Southern Oscillation', J. Clim. 5, 1535-1539.
21. Jaime, P. R. y Menéndez, A. N., 2002: 'Análisis del régimen hidrológico de los ríos Paraná y Uruguay', Informe LHA 01-216-02, Instituto Nacional del Agua.
22. Climate Prediction Center, NOAA,
http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/Nino_3_3.4_indices.html
23. Japan Meteorological Agency,
ftp://www.coaps.fsu.edu/pub/JMA_SST_Index/
24. Cacik, P., 1996: 'Relaciones entre variabilidad climática en los océanos Pacífico y Atlántico y los caudales registrados en un sector de la Cuenca del río Paraná', IRIP-CR_SF96/1.
25. Berri, G., Cacik, P., Flamenco, E. y Ghietto, M., 1998: 'El Niño y algunos se sus efectos sobre los recursos hídricos en la Argentina' en "Efectos de El Niño sobre la variabilidad climática, agricultura y Recursos Hídricos en el Sudeste de Sudamérica", Taller sobre El Niño y sus impactos en el MERCOSUR; Respuestas nacionales e internacionales, Tercer Foro Regional de Perspectiva Climática en el Sudeste de Sudamérica.

26. Pochat, V., 1996: 'Las mayores crecidas en la Cuenca del Plata', en "Informe sobre el Seminario-Taller Interamericano sobre Reducción de la Vulnerabilidad de los sectores Agrícola, Energético y de transportes a Inundaciones en Cuencas Hidrográficas" Foz do Iguaçu, 1995. Unidad de Desarrollo Sostenible y medio Ambiente, Secretaría General de la Organización de los estados Americanos. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea26b/ch10.htm>
27. Climate Research Unit, University of East Anglio, U.K. <http://www.cru.ues.ac.uk/datasets.html>