

*Curso de Entrenamiento Regional sobre Aplicaciones Prácticas de la  
Predicción Climática a Corto Plazo a la Hidrología y al Manejo de los  
Recursos Hídricos en Centroamérica y Sudamérica  
Julio de 1995 - Santa Fe, Argentina*

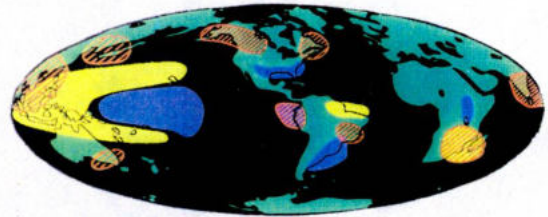
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

**FICH**  
**LICH**

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas  
Universidad Nacional del Litoral

Universidad Nacional del Litoral  
Santa Fe, Argentina

International Research Institute  
for Climate Prediction  
Pilot Project



Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University  
Palisades, New York, USA

*Impacto del fenómeno El Niño sobre los Recursos  
Hídricos en el Continente Americano y nuevas  
metodologías aplicables al pronóstico  
hidrológico estacional e interanual*

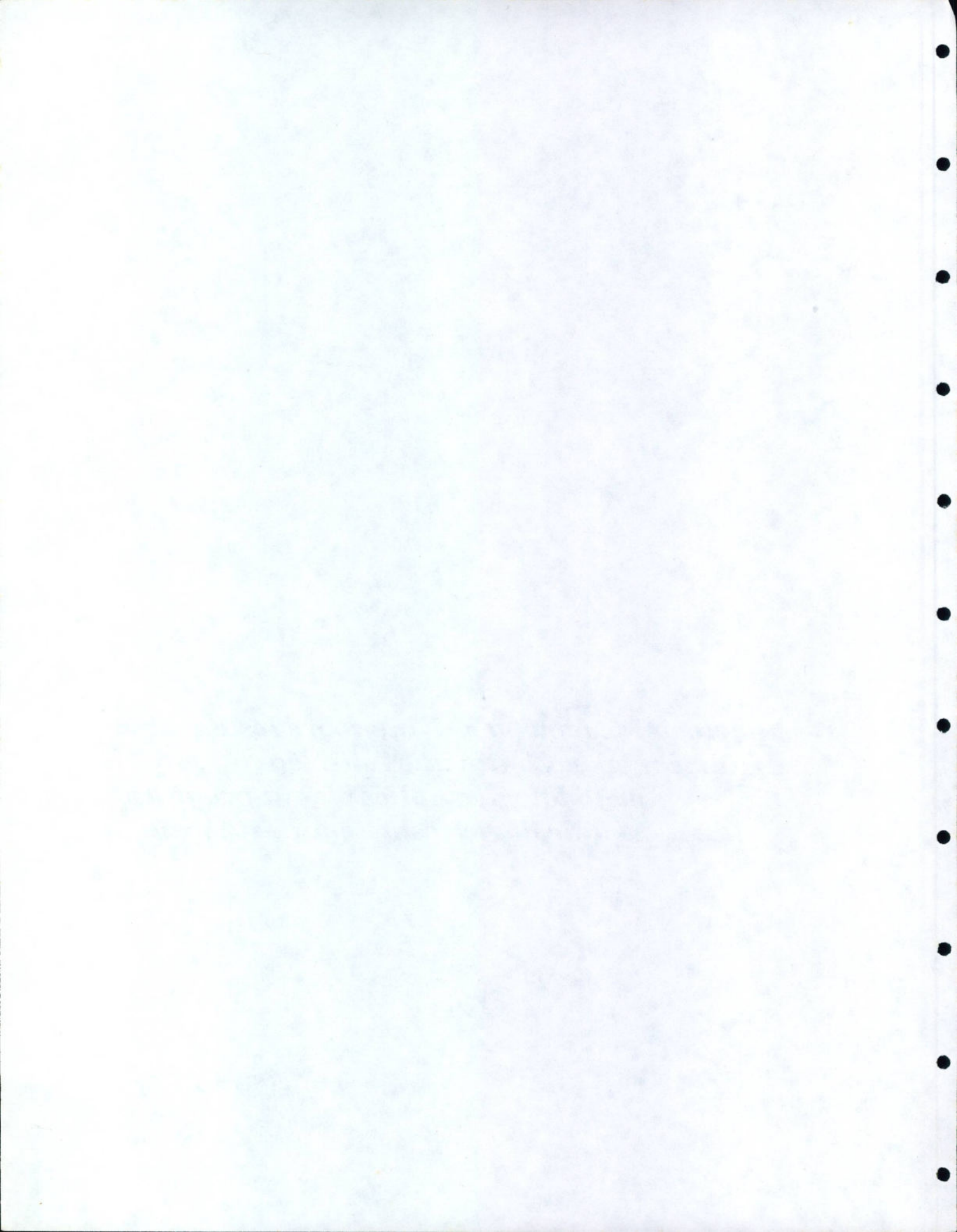
*Guillermo J. Berri  
Editor*

IRIP-CR-SF96/1

IRI Applications and Training Pilot Project  
Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University  
P.O.Box 1000 , Route 9W , Palisades , NY 10964-8000 , USA

***Impacto del fenómeno El Niño sobre los Recursos  
Hídricos en el Continente Americano y nuevas  
metodologías aplicables al pronóstico  
hidrológico estacional e interanual***

***Guillermo J. Berri  
Editor***



## PROLOGO

El primer Curso de Entrenamiento Regional titulado "Curso de Entrenamiento Regional Sobre Aplicaciones Prácticas de la Predicción Climática a Corto Plazo a la Hidrología y el Manejo de los Recursos Hídricos en Centroamérica y Sudamérica", se dictó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas -FICH-, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, entre el 3 y el 28 julio de 1995. El Curso del Entrenamiento Regional fue organizado conjuntamente por el Proyecto Piloto del Instituto Internacional de Investigaciones -IRI- y la FICH.

El Comité Organizador agradece muy especialmente al Ing. Julio C. Theiler, Decano de la FICH y a su personal docente y no docente por la colaboración brindada durante el desarrollo del Curso de Entrenamiento y el Simposio.

Se agradece a la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Santa Fe, a la empresa Evaluación de Recursos S.A. y la Fundación Antorchas de Argentina, por su valiosa contribución económica que ayudó a solventar en parte los gastos que demandó la realización del Curso.

En particular, se agradece al Ing. Horacio Loyarte, jefe del Área de Informática de la FICH y a su equipo de trabajo por la pronta instalación del equipamiento computacional y la continua asistencia prestada.

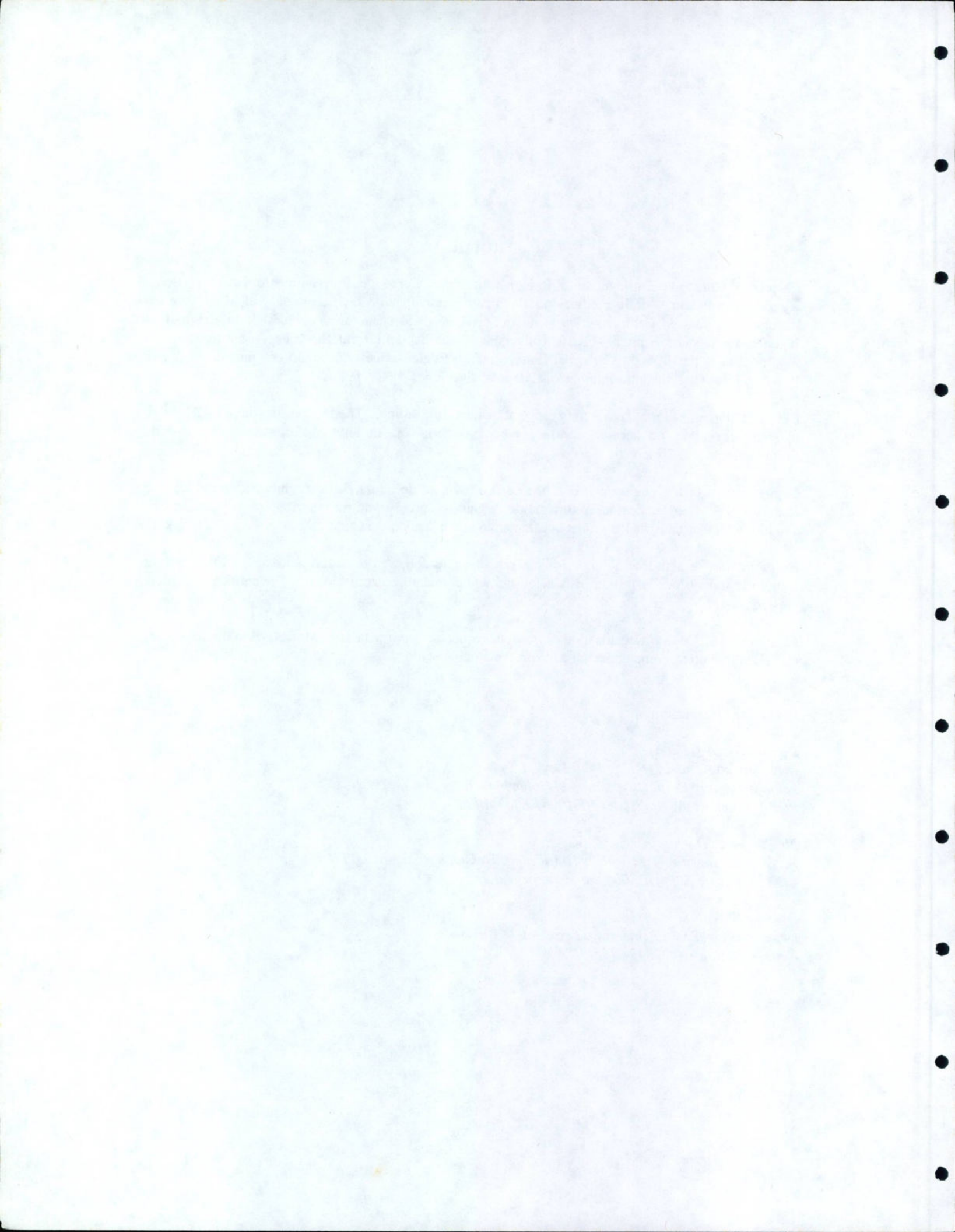
Finalmente, el Comité Organizador expresa su reconocimiento a la Ing. Marcela A. Ghiotto por el excelente trabajo de compaginación de la presente publicación.

El Comité Organizador

*Dr. Guillermo J. Berri*  
*IRI Applications and Training Pilot Project*  
*Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University*  
*POBox 1000 Rt 9W, Palisades NY 10964-8000, USA*

*Lic. Norberto O. García*  
*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral*  
*CC 495, Paraje El Pozo, 3000 Santa Fe, Argentina*

*Dr. Juan B. Valdés*  
*Department of Civil Engineering, Texas A& M University*  
*College Station TX 77843-3136, USA*



## INDICE

<b>1. Antecedentes</b> .....	1
1.1 Actividades del Proyecto Piloto del IRI .....	1
1.2 Acciones Futuras .....	2
<b>2. Curso de Entrenamiento Regional</b> .....	3
2.1 Proposito del Curso .....	3
2.2 Participantes .....	3
2.3 Docentes .....	3
2.4 Comité Organizador .....	3
2.5 Desarrollo del Curso .....	4
2.6 Laboratorio del Clima .....	4
2.7 Simposio .....	4
2.8 Proyecto Piloto de Aplicaciones Prácticas .....	5
2.9 Datos Utilizados .....	5
2.10 Resultados y Conclusiones .....	5
<b>3. Informes de los participantes</b>	
<i>Relación entre la variabilidad climática en los Océanos Pacífico y Atlántico y los caudales registrados en un sector de la cuenca del río Paraná. Pablo Cacik, Argentina</i> .....	9
<i>Estudio de los caudales de ríos de San Juan y Mendoza, en la República Argentina y su relación con el IOS. Andrea Carril y Moira Doyle, Argentina</i> .....	14
<i>Predicción del derrame estacional proveniente del derretimiento de nieve en ríos cordilleranos de la República Argentina. Eduardo A. Flamenco, Argentina</i> .....	19
<i>Relaciones entre las manifestaciones del ENOS y el comportamiento de los caudales en la cuenca del río Paraná. Marcela Alejandra Ghiotto, Argentina</i> .....	22
<i>Relación entre la variabilidad de caudales en la provincia de Buenos Aires, Argentina y los indicadores del ENOS. Maria C. Moyano, Argentina</i> .....	26
<i>Relación entre los efectos de la variabilidad climática y las alturas hidrométricas registradas en el río Paraná. Susana B. Vanlesberg, Argentina</i> .....	28
<i>Introducción al estudio de las relaciones entre los ciclos del ENOS y la temperatura media en la Argentina. Daniel A. Vila, Argentina</i> .....	31
<i>Relación entre la variabilidad climática y los caudales registrados en la cuenca del río Paraguay, Argentina. Graciela V. Zucarelli, Argentina</i> .....	37
<i>Relações entre anomalias da temperatura superficial do Pacífico e anomalias de precipitação e vazão (Chapecó-SC-Brasil) para previsão de utilização de práticas conservacionistas do solo. Darci Antônio Althoff e Fernando César Moura De Andrade, Brasil</i> .....	42
<i>Influência do fenomeno El Niño em vazões de rios do estado do Ceará. Fernando C. Moura De Andrade, Brasil</i> .....	47
<i>Estudio preliminar sobre la predicción de caudales en el sistema hídrico del río Uruguay en función de la variabilidad de las anomalías de las temperaturas del Pacífico ecuatorial y del Atlántico Sur. Alfonso Risso, Brasil</i> .....	51
<i>Anomalías de caudales en Chile: un intento de pronóstico considerando la influencia del fenómeno ENOS. Daniel Benitez G, Chile</i> .....	57
<i>Estudio de las relaciones entre el ENOS y el régimen fluviométrico en cuencas de la zona central de Chile. Gabriel Castro Araya, Chile</i> .....	62
<i>Estimación de modelos de pronóstico de caudal para el sector eléctrico colombiano usando índices macroclimáticos asociados al ENOS. Edgar Cadavid Mazo, Colombia</i> .....	66
<i>Aplicación práctica de la predicción climática en el pronóstico de caudales en el sistema de generación hidroeléctrica de la Empresas Públicas de Medellín, Colombia. Héctor Pizarro Díaz y José E. Salazar V, Colombia</i> .....	72

<i>Predicción de caudales para planeamiento de la operación en las centrales hidroeléctricas de Paute y Agoyan en el Ecuador.</i> Winston M. Villagomez Del Pozo, Ecuador .....	75
<i>Pronóstico estadístico interanual de precipitación pluvial acumulada de verano e invierno para México, utilizando teleconexiones geofísicas y astronómicas.</i> Jorge Sánchez-Sesma, México .....	79
<i>Estudio preliminar acerca del Niño y su influencia en la predicción de caudales en la cuenca del río Chiriquí.</i> Abril Mendez, Panamá .....	84
<i>Introducción al estudio de las relaciones entre los ciclos del ENOS y los caudales provenientes de los glaciares de la cordillera Blanca de los Andes peruanos.</i> César Portocarrero Rodriguez, Perú ...	89
<i>Estudio preliminar para determinar la relación existente entre el Niño y los caudales del río Chira de la costa peruana.</i> Justo Salcedo Baquerizo, Perú .....	92
<i>Influencia del ENOS en la cuenca del río Yaracuy, Venezuela.</i> Maria I. Rojas Polanco, Venezuela .....	95
Anexo A: Lista de participantes .....	101
Anexo B: Participantes del Simposio y Ponencias .....	105
Anexo C: Definiciones utilizadas .....	109
Anexo D: Publicaciones del Proyecto Piloto del IRI .....	111

## **1. ANTECEDENTES**

En cumplimiento de compromisos asumidos por los EE.UU ante las Naciones Unidas en la Conferencia Sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, Brasil, 1992), la Administración Nacional de Océanos y Atmósfera (NOAA) ha emprendido un Proyecto Piloto para demostrar el concepto operativo de un Instituto Internacional de Investigaciones (IRI) dedicado a la Predicción Climática Estacional e Interanual.

El Proyecto Piloto está ideado para proporcionar experiencia práctica y generar herramientas útiles para la implementación del Instituto. Las actividades del Proyecto Piloto incluyen:

- cursos de Entrenamiento sobre Aplicaciones para presentar a climatólogos y otros científicos los últimos avances en modelación climática y sus potenciales aplicaciones prácticas; que se imparten en el Observatorio Terrestre Lamont-Doherty (LDEO) de la Universidad de Columbia, New York;

- un proyecto de intercomparación de simulaciones experimentales con diferentes modelos climáticos acoplados océano-atmósfera, que se desarrolla en la Institución Scripps de Oceanografía (SIO), de la Universidad de California en San Diego, California; y

- una serie de Talleres de Trabajo desarrollados con el objeto de iniciar el diálogo, en diversas regiones del mundo, sobre la posibilidad de la utilización práctica de predicciones climáticas estacionales e interanuales.

### **1.1 ACTIVIDADES DEL PROYECTO PILOTO DEL IRI**

Durante 1993 y 1994 se desarrollaron dos Cursos de Entrenamiento de 9 meses de duración cada uno, dictados para científicos provenientes de países donde es reconocido el impacto producido por el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS). El objetivo de estos cursos titulados "Curso de Entrenamiento Sobre Aspectos Teóricos y Prácticos del Pronóstico Climático a Corto Plazo", es presentar el estado actual del conocimiento en el desarrollo de los modelos climáticos acoplados océano-atmósfera, e introducir el concepto de las aplicaciones prácticas de la predicción climática a escala local y regional. Estos cursos se desarrollaron en las Instalaciones de Entrenamiento y Aplicaciones del Proyecto Piloto en el LDEO (Informe de Actividades No. 1 y No. 2, Berri 1994 y 1995).

Estos dos Cursos de Entrenamiento han contado con 20 participantes de 16 países: Argentina, Australia, Brasil, Chile, China, Ecuador, EE.UU (Islas del Pacífico), India, Indonesia, Japón, Kenia, Paraguay, Perú, Sudáfrica, Uruguay y Zimbabwe. Estos científicos han realizado evaluaciones climáticas y desarrollado aplicaciones experimentales para su región de origen que en muchos casos han contribuido al desarrollo de nuevas aplicaciones en sus Instituciones (Berri, 1995).

En vista de la experiencia obtenida en los dos primeros Cursos de Entrenamiento, el Proyecto Piloto expandió sus actividades de entrenamiento mediante la organización de cursos cortos orientados a explorar las aplicaciones prácticas del pronóstico climático estacional e interanual a la agricultura y los recursos hídricos.

En junio de 1995 se completó el primer Curso de Entrenamiento de 3 meses de duración titulado "Curso de Entrenamiento Sobre Aplicaciones Prácticas del Pronóstico Climático a Corto Plazo a la Agricultura". Se invitó a 9 ingenieros agrónomos de Argentina, Brasil, Chile, China, Kenia, Sudáfrica, Uruguay y Zimbabwe, para estudiar las aplicaciones prácticas de los modelos de predicción climática al impacto del ENOS en las actividades agrícolas regionales.

Durante el mes de julio de 1995 se desarrolló en Santa Fé, Argentina el primero de una serie de Cursos de Entrenamiento Regional de corta duración que tienen por objeto prestar especial atención a las necesidades específicas de diferentes regiones del planeta. EL curso se tituló "Curso de Entrenamiento Regional Sobre Aplicaciones Prácticas de la Predicción Climática a Corto Plazo a la Hidrología y el Manejo de los Recursos Hídricos en Centroamérica y Sudamérica del Sur", y se describe en detalle en esta publicación.

El segundo Curso de Entrenamiento de 3 meses titulado "Curso de Entrenamiento Sobre Aplicaciones Prácticas de la Predicción Climática a Corto Plazo a la Hidrología", finalizó en el mes de enero de 1996. Se invitó a 8 hidrólogos e ingenieros hidráulicos de Argentina, Brasil, Colombia, China, Kenia, Perú y Zimbabwe, para trabajar sobre las aplicaciones prácticas de los pronósticos del ENOS al manejo de los recursos hídricos. Los participantes desarrollaron nuevas metodologías de predicción interanual aplicadas a la disponibilidad de agua para generación hidroeléctrica, irrigación y pronóstico de eventos extremos tales como inundaciones. En algunos casos estas predicciones llegan hasta 18 meses de anticipación.

Un Analista de Sistemas asiste continuamente a los participantes del curso en el uso del sistema computacional. También presta asistencia en el desarrollo de vínculos de comunicación entre la Institución del participante y el Proyecto Piloto para el intercambio de datos y en particular para el desarrollo de protocolos para el intercambio rutinario de información. El Proyecto Piloto ha creado un servidor de la World Wide Web informando sobre sus objetivos y destacando sus actividades de entrenamiento. Este servidor es accesible a través de Internet en: <http://exigente.ldeo.columbia.edu>.

El Proyecto Piloto también ha emprendido actividades de desarrollo apoyando a tres investigadores post-doctorales en la SIO para la intercomparación de diferentes modelos acoplados de circulación global océano-atmósfera. El objetivo es evaluar la habilidad predictiva de estos modelos y ganar experiencia práctica en el diseño y configuración de un sistema focalizado en la adquisición de datos, inicialización de modelos y preparación de pronóstico climáticos.

En un esfuerzo por incentivar a las comunidades usuarias, el Proyecto Piloto ha patrocinado una serie de Talleres Regionales sobre las aplicaciones prácticas de la predicción climática estacional e interanual y el conocimiento del ENOS. Un total de 10 Talleres de Trabajo, realizados en Argentina, Australia, Brasil, EE.UU, Indonesia, Italia y Uruguay han iniciado con éxito el diálogo de entendimiento regional sobre las aplicaciones del pronóstico climático.

El Proyecto Piloto está realizando una importante contribución para generar una masa crítica de científicos trabajando en la aplicación y el uso práctico de la predicción climática estacional e interanual en la toma de decisiones. El Proyecto Piloto ha intruído a un total de 56 especialistas de 20 países y más de 500 científicos, administradores y tomadores de decisión gubernamentales han participado en los Talleres Regionales (ver Anexo D para una lista completa de las publicaciones del IRI).

En síntesis, el Instituto Internacional de Investigación -IRI- está ideado para desarrollar o adaptar modelos acoplados de circulación global océano-atmósfera y para producir regularmente pronósticos climáticos estacionales e interanuales. Aquellos países que se interesen en este proyecto podrán establecer Centros de Aplicación que utilizarán esta información en la planificación de políticas gubernamentales, el manejo de los recursos hídricos, la planificación agrícola y la prevención de desastres naturales tales como sequías e inundaciones.

A través de todas estas actividades el Proyecto Piloto está realizando una importante contribución destinada a establecer una red multinacional de especialistas e Instituciones con el objetivo de avanzar en la comprensión de la variabilidad climática a corto plazo y en el desarrollo de metodologías que sean de utilidad para mejorar el manejo de los recursos naturales y mitigar el impacto adverso de la variabilidad climática sobre la sociedad.

## **1.2 ACCIONES FUTURAS**

El "Foro Internacional Sobre el Pronóstico de El Niño" se llevó a cabo en Washington DC, EE.UU en noviembre de 1995 con el propósito de realizar el lanzamiento del proyecto de un Instituto Internacional de Investigación -IRI- dedicado a la predicción climática estacional e interanual. El Foro fue organizado por la Oficina de Política Científica y Tecnológica de la Casa Blanca y coordinado por el Administrador de la NOAA y Subsecretario de Océanos y Atmósfera del Departamento de Comercio de los EE.UU. El Foro contó con el auspicio de la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF), la Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio (NASA) y el Departamento de Energía (DOE), todos ellos de los EE.UU. Entre los participantes del Foro se contó con la presencia de científicos, delegaciones oficiales de más de 40 países y más de 20 Organizaciones Internacionales Gubernamentales y No-Gubernamentales.

Durante las sesiones del Foro, EE.UU informó acerca del progreso alcanzado con las actividades desarrolladas por el Proyecto Piloto, confirmó su compromiso de brindar apoyo inicial para establecer un Centro de Investigación que se encuadre dentro de los objetivos del IRI, y alentó a los participantes a aunar esfuerzos para crear un Instituto multinacional. A lo largo de las distintas sesiones se discutió la Declaración del Foro la que fue aprobada durante el Plenario de cierre.

Este encuentro ha allanado el camino que permitirá iniciar conversaciones sobre el diseño e implementación de un programa multinacional dedicado a las aplicaciones prácticas del pronóstico climático estacional e interanual.

## **2. CURSO DE ENTRENAMIENTO REGIONAL**

El primer Curso de Entrenamiento Regional utulado "Curso de Entrenamiento Regional Sobre Aplicaciones Prácticas de la Predicción Climática a Corto Plazo a la Hidrología y el Manejo de los Recursos Hídricos en Centroamérica y Sudamérica", se dictó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas -FICH-, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, entre el 3 y el 28 julio de 1995. El Curso fue organizado conjuntamente por el Proyecto Piloto del IRI y la FICH.

### **2.1 PROPOSITO DEL CURSO**

El propósito del Curso de Entrenamiento Regional ha sido presentar a hidrólogos y especialistas en recursos hídricos, el estado actual del conocimiento en lo referente a la predicción climática a corto plazo, como así también examinar la capacidad actual de los modelos acoplados océano-atmósfera. El curso se focalizó en el desarrollo de metodologías que permitan adaptar pronósticos climáticos estacionales e interanuales para el uso práctico por parte de los planificadores de los recursos hídricos.

Una parte significativa del Curso se dedicó a entender el impacto de la variabilidad climática sobre las diferentes regiones representadas en el Curso. Los participantes diseñaron y llevaron a cabo sus respectivos Proyectos Piloto de Aplicación, orientados a evaluar la real utilidad de los pronósticos climáticos en la planificación de los recursos hídricos en los principales sistemas hidrológicos de sus países.

### **2.2 PARTICIPANTES**

El Curso Regional de Entrenamiento se dictó para un grupo selecto de 23 participantes provenientes de 9 países del continente americano (ver Anexo A), a saber: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, México, Panamá, Perú y Venezuela. Los requisitos mínimos exigidos incluyeron título universitario en Hidrología, Ingeniería Hidráulica o disciplinas afines, experiencia actual en pronóstico hidrológico o manejo de recursos hídricos, conocimientos y experiencia en análisis de datos, manejo de computadores personales y conocimientos de estadística. La selección se basó en la experiencia y aptitud de los aspirantes.

### **2.3 DOCENTES**

Los docentes del Curso fueron el Dr. Guillermo J. Berri, Director del Proyecto Piloto de Aplicaciones y Entrenamiento del IRI, el Ing. Mario Silber, profesor de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral y el Geofísico Raúl Tanco de la Facultad de Astronomía y Geofísica, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

### **2.4 COMITE ORGANIZADOR**

El Comité Organizador estuvo integrado por el Dr. Guillermo J. Berri del Proyecto Piloto del IRI, el Lic. Norberto O. García de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral y el Dr. Juan B. Valdés del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Texas A& M.

El Comité Organizador Local estuvo integrado por el Lic. Norberto O. García, el Ing. Cristóbal Lozeco y el Ing. Mario Silber de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.

## **2.5 DESARROLLO DEL CURSO**

Las dos primeras semanas del Curso de Entrenamiento se dedicaron a proporcionar a los participantes una sólida base teórica sobre la predicción climática a corto plazo y los modelos acoplados de circulación global océano-atmósfera. Se discutió en particular los datos requeridos por estos modelos, los sistemas actuales de comunicación y la problemática regional relacionada con el manejo de los recursos hídricos, la variabilidad climática y el fenómeno ENOS.

Durante la primera semana el Geofísico Raúl Tanco asistió a los participantes, familiarizándolos con el uso de las herramientas computacionales disponibles durante el Curso de Entrenamiento. Los participantes dispusieron para su uso exclusivo de una red de computadoras para ejecutar un conjunto de programas especialmente desarrollados por el Proyecto Piloto, denominado CLIMLAB. Un total de 12 computadoras tipo Notebook (DX4 100 Mhz y 8MB de memoria RAM) fueron enviadas a Santa Fe para el uso exclusivo de los participantes. Este equipamiento fue especialmente adquirido por el Proyecto Piloto para ser utilizado en sus Cursos de Entrenamiento Regional.

Simultáneamente, el Ing. Mario Silber condujo una serie de clases tendientes a nivelar los conocimientos sobre probabilidades y estadística.

## **2.6 LABORATORIO DEL CLIMA - CLIMLAB**

El Geofísico Raúl Tanco introdujo en forma práctica a CLIMLAB (Laboratorio del Clima, Tanco y Berri, 1995), programa especialmente diseñado y desarrollado por el Proyecto Piloto del IRI para ser utilizado en la investigación y desarrollo de aplicaciones prácticas de los pronósticos climáticos a corto plazo. Este programa está diseñado para ser ejecutado tanto en computadoras personales (Sistema MS-DOS) como en Sistemas UNIX y combina una poderosa herramienta estadística MATLAB (marca registrada de Mathworks Inc.), con la habilidad de GRADS (COLA/Universidad de Maryland), para generar diferentes tipos de gráficos y contornos bidimensionales. CLIMLAB, pensado y diseñado para ser operado en forma amigable, es capaz de:

- manipular conjuntos de datos y reemplazar datos faltantes;
- calcular anomalías mensuales y estacionales en series de tiempo;
- suavizar, normalizar y detectar y eliminar tendencias en series de tiempo;
- dibujar diferentes tipos de gráficos estadísticos;
- crear modelos simples de predicción climática y ejecutar análisis de tipo hindcast, validación cruzada y análisis categóricos a través de tablas de contingencia de eventos;
- realizar análisis de componentes principales, funciones empíricas ortogonales y trazar mapas de autovectores, etc.

CLIMLAB también incluye un conjunto histórico de datos globales de temperatura de la superficie del mar.

## **2.7 SIMPOSIO**

Durante la segunda semana se desarrolló el "Simposio Sobre el Uso Potencial de la Predicción Climática Estacional e Interanual en el Manejo de los Recursos Hídricos en Centroamérica y Sudamérica" como parte de las actividades del Curso de Entrenamiento. El Simposio contó con los auspicios del Gobierno de la Provincia de Santa Fe, la Secretaría de Obras y Servicios Públicos de la Nación, el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCyTH) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina.

El Simposio se centró en las aplicaciones prácticas de la predicción climática a corto plazo en la planificación de los recursos hídricos en Centroamérica y Sudamérica. Destacados conferencistas (ver Anexo B) disertaron sobre el conocimiento que se dispone acerca del impacto del fenómeno ENOS sobre los sistemas hidrológicos del continente. Los disertantes enfocaron sus presentaciones en el pronóstico climático a corto plazo, e incluyeron discusiones sobre los datos requeridos, los modelos actuales y el impacto de la variabilidad climática en la hidrología. En particular, se discutió la capacidad actual de los modelos acoplados de circulación global océano-atmósfera, como así también sus limitaciones. El Simposio reunió por primera vez a más de 100 especialistas que evaluaron el uso práctico del pronóstico climático estacional e interanual en la planificación de los recursos hídricos en el continente.

## **2.8 PROYECTO PILOTO DE APLICACIONES PRACTICAS**

Luego del Simposio, se continuó con el Curso de Entrenamiento y cada participante presentó un seminario describiendo los principales sistemas hidrológicos de su país y/o región, como así también el impacto observado de la variabilidad climática a corto plazo sobre los recursos hídricos. Este seminario se desarrolló a título informativo y contribuyó a un mejor entendimiento de la problemática regional.

Las últimas dos semanas del Curso de Entrenamiento cubrieron los aspectos prácticos de la predicción climática a corto plazo y su importancia para los tomadores de decisión. Los participantes, guiados por el Director de Aplicaciones y Entrenamiento del Proyecto Piloto del IRI y otros colaboradores, llevaron a cabo experiencias prácticas de pronóstico climático aplicado. Esta tarea incluyó el diseño y la realización de experiencias prácticas y la interpretación y verificación de sus resultados.

## **2.9 DATOS UTILIZADOS**

Para verificar los resultados obtenidos, cada participante utilizó los datos disponibles de su región de interés, como así también información general sobre los sistemas hidrológicos y la evaluación socio-económica del impacto del ENOS en sus comunidades. Los datos utilizados incluyeron:

- información geográfica de los principales sistema hidrológicos en su país y/o región;
- datos hidrológicos tales como promedios mensuales de descargas y escurrimientos, etc.;
- datos de los sistemas hidrológicos (características de los reservorios, generación hidroeléctrica, etc.);
- promedios mensuales de precipitación y temperatura de las estaciones climáticas seleccionadas a nivel regional, y
- información adicional de importancia para la evaluación de eventos climáticos extremos tales como sequías o inundaciones, junto con informes oficiales del impacto económico y social de tales eventos en el manejo de los recursos hídricos, pérdidas humanas, daños a las propiedades, etc.

Estos datos fueron utilizados y compartidos entre los participantes.

Las últimas dos semanas del Curso de Entrenamiento estuvieron orientadas a desarrollar metodologías que ayuden a interpretar y adaptar los pronósticos climáticos a corto plazo generados por modelos, para su utilización práctica en el manejo de los recursos hídricos. También, apuntaron a ayudar a los participantes a comprender la importancia de la utilización de estos pronósticos para la prevención de desastres hidrológicos.

## **2.10 RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Al final del Curso de Entrenamiento cada participante presentó un informe final de su Proyecto Piloto de Aplicaciones Prácticas. Este informe incluye una descripción detallada de los pasos ejecutados y los resultados obtenidos, junto con una conclusión general sobre el desarrollo del Curso. Todos estos informes fueron resumidos y compilados en el punto 3. Informes de los Participantes.

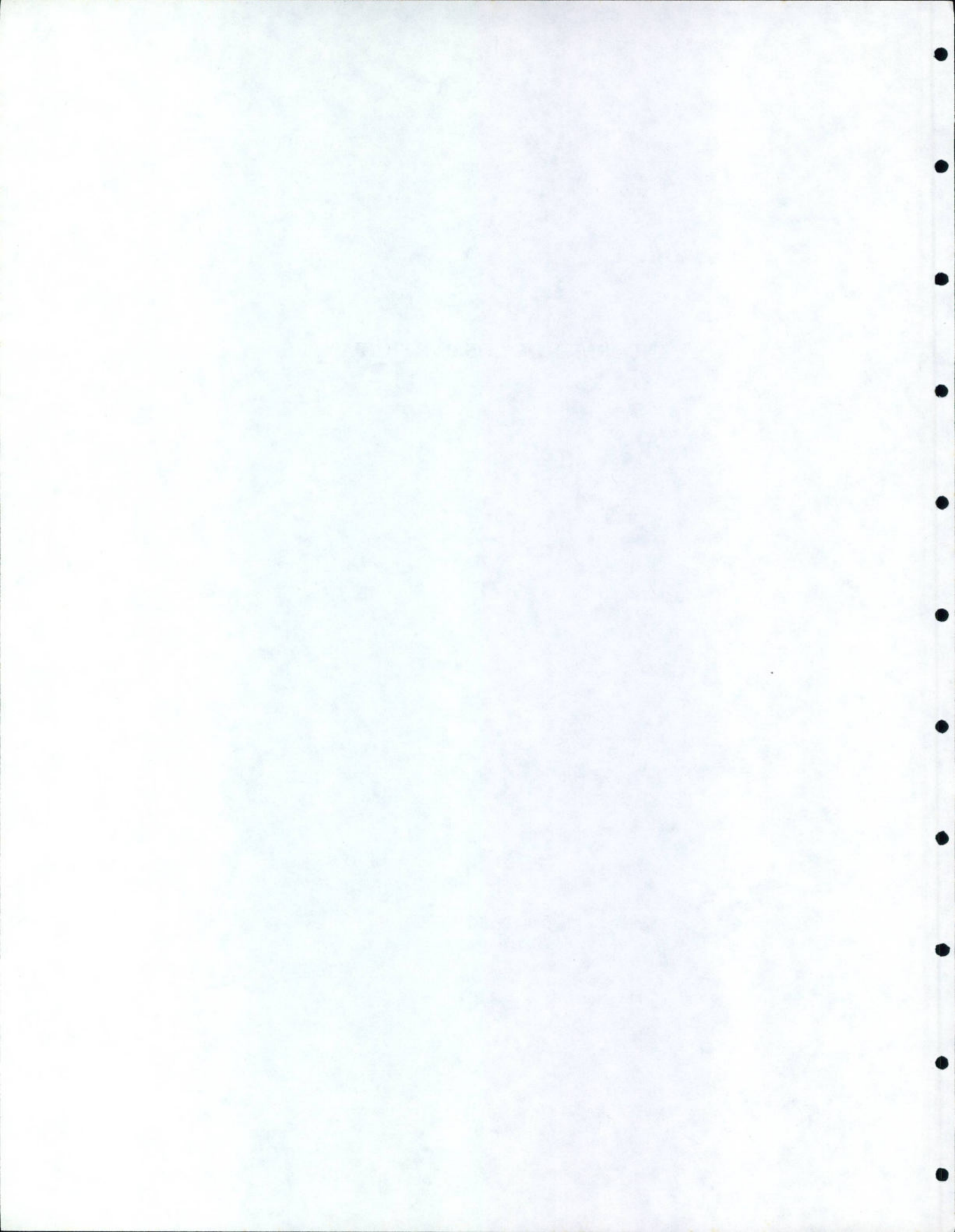
Cada participante fue alentado a explorar la posibilidad de continuar con la investigación y el desarrollo de estas aplicaciones prácticas en sus respectivas Instituciones. El Proyecto Piloto del IRI estudiará cualquier iniciativa de interacción futura con la Institución del participante y alentará la definición de un Proyecto Piloto Cooperativo de Aplicaciones.

Este ha sido el primero de una serie de Cursos de Entrenamiento Regional planificados para atender a las necesidades específicas de diferentes regiones del planeta. El Curso contó con la asistencia de 23 ingenieros hidráulicos e hidrólogos de 9 países del continente americano, a saber: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, México, Panamá, Perú y Venezuela.

Para muchos de estos participantes fue la primera vez que tomaron conocimiento de las relaciones estadísticamente significativas que existen entre distintos indicadores del ENOS y las descargas y escurrimientos en diferentes ríos de la región.

La experiencia generada en este Curso de Entrenamiento ayudó a la organización del Cuarto Curso del Proyecto Piloto del IRI en el Observatorio Terrestre Lamont-Doherty de la Universidad de Columbia, Palisades, New York. Este Cuarto Curso titulado "Curso de Entrenamiento Sobre Aplicaciones Prácticas de la Predicción Climática a Corto Plazo a la Hidrología", se dictó entre noviembre de 1995 y enero de 1996 para 8 hidrólogos e ingenieros hidráulicos de Argentina, Brasil, China, Ecuador, Kenia, Perú y Zimbabwe.

**INFORMES DE LOS PARTICIPANTES**



## RELACION ENTRE VARIABILIDAD CLIMATICA EN LOS OCEANOS PACIFICO Y ATLANTICO Y LOS CAUDALES REGISTRADOS EN UN SECTOR DE LA CUENCA DEL RIO PARANA

Pablo CACIK

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral  
Santa Fe, Argentina

A partir de las importantes crecidas registradas en la cuenca del río Paraná en los últimos 12 años, comenzaron a plantearse hipótesis de correspondencia entre los caudales de crecida y los fenómenos "Niño". El análisis que se efectúa pretende cuantificar de manera sencilla la relación existente entre caudales registrados (anomalías tomadas por trimestre) y ocurrencia de anomalías en distintas zonas preestablecidas del Océano Pacífico de las cuales se tiene valores promedio. Asimismo se incorpora al planteo información de temperaturas registradas en el Océano Atlántico. Se muestran los períodos donde la incidencia de los fenómenos originados en los océanos es más fuerte y se indican los rezagos en la ocurrencia de los fenómenos según el período analizado. El trabajo se desarrolló utilizando el programa Climlab, desarrollado por el Proyecto Piloto del IRICP.

La diversidad de características fisiográficas, hidrometeorológicas e hidrográficas existentes en la cuenca aguas arriba de las estaciones a estudiar, hacen conveniente realizar una breve interpretación del funcionamiento de las principales subcuencas a los efectos de una mejor comprensión de los fenómenos hidrológicos involucrados, sobretudo en los procesos de crecidas. Las estaciones de caudales analizadas fueron Posadas y Corrientes, cuyas características se describen a continuación.

La estación Posadas está ubicada sobre el río Paraná aguas abajo de la confluencia del río Iguazú con el río Paraná Superior (lat: 27° 23' S, lon: 55° 53' O, altitud: 80 msnm), con un área de aportes de 975.000 Km<sup>2</sup> y un caudal medio anual (serie 1949-1994) de 12.600 m<sup>3</sup>/s. Está ubicada prácticamente sobre la cola del embalse originado por la represa binacional Yaciretá.

La subcuenca del Paraná Superior tiene, hasta recibir los aportes del río Iguazú, una superficie de unos 900.000 Km<sup>2</sup>, y tiene gran influencia en el volumen y duración de las crecidas. Las precipitaciones se concentran por lo general en el período estival y a principios de otoño originando las crecidas de los meses de febrero y marzo. La subcuenca del río Iguazú con una superficie de 49.000 Km<sup>2</sup> y tiene características propias muy importantes en el desarrollo de las crecidas ya que recibe precipitaciones significativas y con distribución prácticamente uniforme a lo largo del año sobre un relieve acentuado. Este hecho provoca crecidas menos voluminosas que las originadas en el Paraná Superior, pero importantes desde el punto de vista de los caudales pico, y que pueden superponerse con otros aportes importantes de la cuenca.

La estación Corrientes está ubicada sobre el río Paraná (aguas abajo de Posadas) e inmediatamente aguas abajo de la confluencia con el río Paraguay (lat: 27°58' S, lon: 58°49' O, altitud: 60 msnm). Los registros observados en la misma integran los aportes de un área de 2.095.000 Km<sup>2</sup>. El caudal medio anual es de 17.500 m<sup>3</sup>/s. A los aportes mencionados para la estación Posadas, es necesario adicionar los aportes de la cuenca del río Paraguay con una área de aporte de 1.115.000 Km<sup>2</sup>, pero con características de crecidas que son diferentes a las del río Paraná propiamente dicho. Esto se debe a que en su cuenca alta se encuentra una gran zona deprimida, denominada "El Pantanal", que actúa como amortiguador natural de los derrames. Las precipitaciones son algo inferiores a las del Paraná Superior, de concentración estival, pero debido a la acción amortiguadora mencionada, las crecidas presentan rezagos y se extienden por más tiempo; o sea tiene menores caudales pico en un hidrograma aplanado. Los máximos se producen generalmente en invierno. La Tabla 1 resume los caudales medio mensuales en ambas estaciones.

El análisis de los datos se realizó a nivel trimestral, tanto de caudales como de temperaturas. Se tomaron caudales trimestrales haciendo el promedio de los caudales mensuales registrados en el trimestre, lo mismo para las temperaturas. En la Tabla 2 se presenta una comparación entre los mayores caudales trimestrales registrados y anomalías de las temperaturas de la superficie del mar (TSM) en la zona denominada Niño3.

Se realizaron comparaciones de caudales con las TSM en el Océano Pacífico, en las zonas denominadas como Niño1+2, Niño3 y Niño4. Además se realizó una comparación con el índice de oscilación del sur (IOS). A los efectos de completar el análisis se trabajó también con temperaturas del Océano Atlántico, denominándolas a éstas ATLAG (región comprendida desde la línea ecuatorial hasta la latitud de 35°S) y ATLAC (región comprendida entre 5°S - 20° S y 25°O - 40° O).

Los trimestres seleccionados para los caudales fueron los de EFM, AMJ, JAS, OND, agrupados de acuerdo a la distribución anual media de los mismos. Para el IOS y las TSM, los valores trimestrales se calcularon teniendo en cuenta todas las agrupaciones posibles, o sea desplazando los períodos de a un mes por vez. Las temperaturas trimestrales en el Atlántico se obtuvieron para los trimestres EFM, AMJ, JAS y OND.

Se realizaron en primera instancia correlaciones lineales entre los posibles predictores y los caudales en ambas estaciones seleccionadas. En todos los casos se trabajó con anomalías normalizadas. En la Figura 1 se puede apreciar las variaciones en las anomalías de caudales trimestrales para la estación Posadas y de TSM en la región Niño3. En la Tabla 3 se presentan los mejores coeficientes de correlación encontrados con los otros predictores utilizados. Los valores entre paréntesis indican el período utilizado para obtener la temperatura trimestral.

Se elaboró la matriz de contingencia, que se muestra en la Tabla 4, entre anomalías de caudales del trimestre OND y temperaturas de Niño3 del trimestre AMJ. Se realizó la correlación lineal múltiple entre las anomalías de caudales en Posadas durante el trimestre OND y las temperaturas del Niño3 del trimestre AMJ y de la región del Atlántico ATLAC del trimestre JAS. La misma se efectuó para el período 1949-1985, mientras que el período 1986-1994 se utilizó para validar la ecuación encontrada. El coeficiente de correlación obtenido es 0.75 con un error estándar de 0.63. La validación cruzada dió un valor del coeficiente de correlación de 0.68 y "skill" resultante de 63.9%.

Si bien en ciertos casos la región Niño1+2 da mejores coeficientes de correlación, se adoptó para verificar resultados la región Niño3, ya que en estos momentos se dispone de un pronóstico de temperaturas más confiable. La comparación entre los valores observados y calculados se muestran en la Figura 2.

Este análisis se realizó además eliminando la tendencia de la serie observada de caudales y temperaturas. Se menciona que las tendencias observadas en el Atlántico resultaron mayores inclusive que las de caudales. Al eliminar la tendencia el coeficiente  $r$  es 0.65.

Se realizó para la estación Corrientes un análisis similar al anterior y los mejores resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3. Se realizó una correlación lineal múltiple entre los caudales de OND con los mismos predictores utilizados en la estación Posadas. El coeficiente de correlación fue de 0.73, con un "skill" de 63.9%.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en ambas estaciones son comparables, aunque la estación Posadas muestra resultados ligeramente mejores. Además se observa que en general las tendencias están en fase con las observadas en las distintas zonas Niño.

Los resultados generales de las comparaciones efectuadas se pueden resumir en:

- los mejores resultados se obtienen al utilizar temperaturas de Niño1+2 y Niño3.
- tendencia en general opuestas en fase con el índice IOS, resultando las rectas calculadas con pendiente negativa.
- la zona Niño4 resulta en un peor estimador que los índices anteriores.
- se observan diferencias al considerar distintas regiones del Océano Atlántico.

El trimestre de caudales para el cual se obtienen mejores resultados es el de OND en ambas estaciones. El rezago es de 2 trimestres.

Los resultados encontrados con temperaturas del Océano Atlántico dependen de la región seleccionada para el cálculo de las temperaturas medias en el océano. Los mejores coeficientes se obtienen también para el período OND, con un

desplazamiento de un trimestre o menos. Esto lleva a una dificultad adicional en cuanto a futuros estudios de pronóstico de caudales ya que no existe al momento un modelo de pronóstico de temperaturas del Océano Atlántico.

Al realizar la correlación múltiple teniendo en cuenta las temperaturas del Océano Pacífico (Niño3) y del Océano Atlántico, mejoran los coeficientes para el trimestre analizado. En la estación Corrientes, los resultados son similares a los de Posadas, y la disminución en algunos coeficientes puede ser atribuida a la influencia del Río Paraguay.

La tendencia observada en la serie de caudales ha sido atribuida en estudios anteriores a variaciones propias de la precipitación. La actividad antropogénica en estas alteraciones ha sido en general minimizada. Anderson y otros (1993) y S.W.Halcrow & Ptners. (1994) aportan evidencias acerca de que las modificaciones observadas están relacionadas con una modificación en el patrón e intensidad del régimen pluvial regional. Asimismo debe evaluarse con cuidado las temperaturas del Océano Atlántico, debido a las tendencias observadas en las dos zonas seleccionadas para análisis.

Como paso siguiente a este primer análisis se propone estudiar en detalle otras zonas del Océano Pacífico, buscando encontrar aquella que acuse mayor correlación (independientemente de las regiones aquí analizadas), con respecto a las series de caudales estudiadas.

Asimismo resulta necesario analizar cada anomalía de temperaturas y caudales en particular; visualizando además de estas últimas, el estado de los distintos componentes hidrológicos que se desarrollan en la gran cuenca de aportes; como ser estado del almacenamiento de humedad en el suelo y la cobertura vegetal.

## REFERENCIAS

Anderson, R.J.; Dos Santos, N.; Diaz, H. (1993). An analysis of flooding in the Paraná/Paraguay Basin. LATEN Dissemination Note N° 5. The World Bank. Latin America and the Caribbean Region TD. Washington.

Sir W. Halcrow & Ptners. (1994). Estudio de Regulación del valle aluvial de los Ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el control de las inundaciones. Anexo B: Hidrología. Ministerio del Interior (SUCCE). Argentina.

Tabla 1.- Caudales Medios Mensuales ( en m<sup>3</sup>/s) de las estaciones seleccionadas, para el período 1949-1994

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
POSADAS	14.7	16.6	15.3	13.3	12.4	12.6	11.3	9.95	10.4	11.6	11.8	12.4
CORRIENTES	18.6	21.5	20.9	19.3	18.1	18.7	17.1	14.4	14.2	15.6	16.0	16.3

Tabla 2.- Comparación entre los mayores caudales trimestrales y las TSM la región Niño3.

Año(meses)	Caudales (m <sup>3</sup> /s)		Anomalías de Temperaturas Niño3			
	POSADAS	CORRIENTES	EFM	AMJ	JAS	OND
1983(AMJ)	31300	46399	3.45	2.78		
1992(AMJ)	23420	33451	1.83	1.78		
1966(EFM)	23170	34439	0.84		1.49(*)	1.41(*)
1977(EFM)	20222	27112	0.93		1.27(*)	0.97(*)
1951(EFM)	20015	24108	-0.05			-0.72(*)
1961(EFM)	19755	23966	-0.10			-0.46(*)
1980(EFM)	19608	26468	0.23		0.47(*)	0.41(*)
1982(OND)	19364	28082			1.44	2.73
1965(EFM)	19296	24263	-0.52			-1.02
1990(EFM)	19133	22421	0		-0.13(*)	-0.26(*)

Tabla 3- Coeficientes de correlación entre los distintos predictores utilizados y los caudales de las estaciones Posadas y Corrientes

Predictores	Caudales en Posadas				Caudales en Corrientes			
	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS	OND
Niño12	0.55(def)	0.60(def)	0.50(jja)	0.66(jja)	0.53(nde)	0.58(efm)	0.46(efm)	0.64(mjj)
Niño3					0.37(def)	0.55(fma)	0.43(mam)	0.64(amj)
Niño4	0.09(ond)	0.27(mam)	0.27(mam)	0.45(mjj)	0.15(mjj)	0.22(mam)	0.22(mam)	0.45(amj)
IOS	-0.31(efm)	-0.52(efm)	-0.39(fma)	-0.44(fma)				
ATLAG	0.13(jas)	0.29(ond)	0.36(jas)	0.55(ond)	0.10(jas)	0.20(ond)	0.34(jas)	0.48(ond)
ATLAC	0.12(jas)	0.32(amj)	0.49(jas)	0.48(jas)	0.11(amj)	0.21(amj)	0.38(jas)	0.39(jas)

Tabla 4.- Matriz de contingencia entre las anomalías de caudales del trimestre OND y las temperaturas de Niño3 del trimestre AMJ

		Anomalías de caudales		
		Debajo Normal	Normal	Sobre Normal
Anomalías de la temperatura	Debajo Normal	10	2	3
	Normal	5	7	3
	Sobre Normal	0	6	9

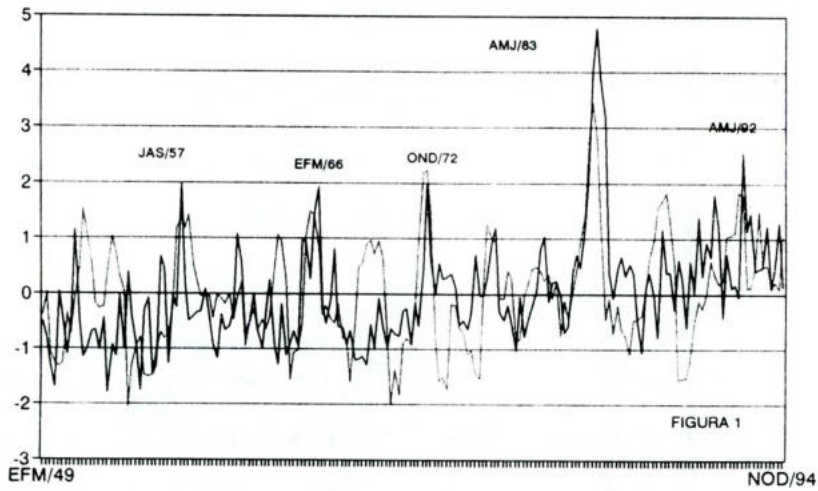


Figura 1.- Anomalías normalizadas de caudales en la estación Posadas (línea llena) y de temperaturas de la superficie del mar en la región Niño3 del Océano Pacífico (línea punteada) durante el período 1949-1994.

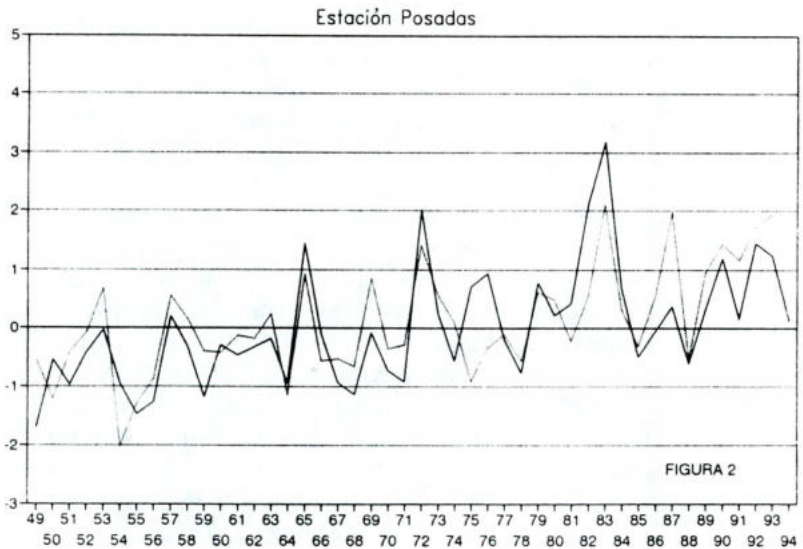


Figura 2.- Caudales observados en la estación Posadas (OND) (línea llena). Caudales pronosticados en la estación Posadas (línea punteada). Los caudales utilizados son anomalías normalizadas correspondientes al período 1949-1994.

## ESTUDIO DE LOS CAUDALES DE RÍOS DE SAN JUAN Y MENDOZA Y SU RELACIÓN CON EL IOS

Andrea CARRIL

Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera, Universidad de Buenos Aires

Buenos Aires, Argentina

Moira DOYLE

Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Universidad de Buenos Aires

Buenos Aires, Argentina

En la década del 70 en las provincias de San Juan y Mendoza se observó con preocupación que los caudales de los ríos presentaban una tendencia hacia las anomalías negativas, la cual se revirtió a partir de los años 80. Paralelamente, estudios de circulación atmosférica realizados por Hurrell y van Loon (1994) muestran un cambio en los patrones dinámicos sobre el hemisferio sur a partir de los años 80, los que podrían estar influenciando en el volumen de los caudales.

Aceituno (1990) y Compagnucci y Vargas (1993) mostraron que existe mayor relación entre las precipitaciones invernales sobre la cordillera de los Andes entre 30° y 40°S con el Índice de la Oscilación del Sur (IOS) que con las temperaturas de la superficie del mar (TSM) del Océano Pacífico tropical. En este sentido se estudiará la relación entre los caudales de deshielo de ríos de las provincias de San Juan y Mendoza y su relación con el IOS, tanto para las series completas como para antes y después de la década del 80.

En el presente estudio se utilizaron datos mensuales de caudales de ríos correspondientes a las provincias de Mendoza y San Juan, cuya ubicación geográfica y longitud de serie se indica en la Tabla 1. Estos ríos son de régimen nival, es decir que los mayores caudales se presentan durante el verano y comienzos del otoño, producto de las precipitaciones invernales sobre la cordillera de los Andes, derivadas del paso de sistemas frontales fríos asociados a depresiones migratorias en latitudes extratropicales (Aceituno y Vidal, 1990).

Para cada una de las estaciones se graficaron las series mensuales y se observó un cambio en la media hacia fines de la década del '70. La verificación estadística se realizó aplicando un test de Student a las medias y un test de Fisher a los desvíos estandar. El primero mostró que realmente existe un cambio estadísticamente significativo al 99%, mientras que el segundo mostró que los desvíos estandar se conservan con una significancia del 90%, excepto en el caso del río Salado (estación Cañada Ancha).

Asimismo, se calcularon las anomalías de caudales bimestrales a partir de las anomalías mensuales estandarizadas, tomando como primer bimestre a los meses de enero y febrero. Estas anomalías se correlacionaron con el Índice de Oscilación del Sur (IOS) promediado bimestralmente y con un rezago de seis meses, debido a la fuerte influencia del IOS sobre la circulación durante el invierno austral (Karoly, 1989) (Tabla 2). Las más altas correlaciones se observan entre enero y junio, siendo máximas durante el bimestre enero - febrero. Debido al cambio que se observó en la media de las series se calcularon nuevamente las correlaciones para el período anterior (Tabla 3) y posterior a enero de 1979 (Tabla 4). Para los meses comprendidos entre enero y junio, los coeficientes de correlación correspondientes al segundo período presentan un aumento con respecto al primero, excepto en el caso del río Salado (Cañada Ancha), el que muestra un comportamiento inverso. Asimismo, el coeficiente de correlación del bimestre enero - febrero para el Río de los Patos, en la estación Alvarez Condarco, aumentó respecto del primer período, pero para los dos bimestres siguientes se debilitó. Estos resultados deben tomarse con cautela, ya que las nuevas series son relativamente cortas. No obstante, el resultado obtenido es un indicio del cambio que se viene observando en la circulación general atmosférica a partir de la década del '80 (Hurrell y van Loon, 1994).

Debido al cambio observado en los coeficientes de correlación y considerando la longitud del registro disponible, se eligió la estación La Plateada (Río de los Patos) para ajustar dos modelos a las anomalías bimestrales de caudales; uno autorregresivo de primer orden y otro con una componente autorregresiva de primer orden y una componente externa, el IOS.

La componente autorregresiva de los modelos se construyó de dos formas: **a)** Se ajustan los caudales del bimestre enero - febrero utilizando como componente autorregresiva los caudales del bimestre noviembre - diciembre. **b)** Se ajustan los caudales del bimestre enero - febrero utilizando como componente autorregresiva los caudales del bimestre julio - agosto del año anterior. En los modelos con componente externa, el IOS corresponde al bimestre julio - agosto del año anterior al del caudal ajustado.

En el caso del modelo **a)** la componente autorregresiva es la que determina el ajuste debido a la fuerte persistencia de la serie de anomalías de caudal (el coeficiente de autocorrelación parcial a rezago 1 es de 0.845); en cambio, en el modelo **b)** la componente externa domina por sobre la autorregresiva debido al bajo coeficiente de autocorrelación parcial (0.07 a rezago 6) y al fuerte coeficiente de correlación con el IOS (-0.55 a rezago 6). Los resultados del modelo **b)** se pueden observar en las Figuras 1 y 2.

Este mismo análisis, con resultados semejantes, se realizó para las series partidas. Para cuantificar la bondad del ajuste se calcularon el error cuadrático medio y la varianza de los residuos entre el valor observado y el ajustado por los modelos **a)** y **b)**, con y sin componente externa, para la serie completa y las series partidas. El error cuadrático medio del modelo **a)** no se reduce al incluir la componente externa; visto de otro modo, la varianza de los residuos mantiene el mismo comportamiento. Por otro lado, el error cuadrático medio del modelo **b)** presenta valores menores al incluir la componente externa. Similar comportamiento se observa al realizar el análisis con las series partidas, pero debe tenerse en cuenta la escasa longitud de los registros.

## CONCLUSIONES.

- La circulación general atmosférica del hemisferio sur ha presentado cambios a partir de la década del '80 (Hurrell y van Loon, 1994), que muy probablemente se reflejen en las variables hidrológicas, tal como lo sugieren los tests estadísticos realizados para los caudales de diferentes ríos de San Juan y Mendoza. Los ríos utilizados para este estudio son de régimen nival y por lo tanto altamente dependientes de la dinámica atmosférica que da origen a la precipitación de invierno sobre la cordillera. Esto se refleja en las altas correlaciones halladas entre las anomalías bimestrales de caudal de verano y el IOS bimestral del invierno anterior.

- Para la aplicación de estos resultados al pronóstico de anomalías de caudales de verano (enero - febrero) con seis meses de anticipación, el modelo debe contar con dos componentes: una autorregresiva y el IOS. Si en cambio, se desea un pronóstico a corto plazo, el mismo es posible con un modelo autorregresivo de primer orden, ya que la inclusión de la componente externa no mejora el ajuste.

- Este estudio se podría continuar analizando si la inclusión de las TSM del Océano Pacífico mejora el pronóstico a seis meses.

## REFERENCIAS

Aceituno, P., 1990: Anomalías climáticas en la región sudamericana durante los extremos de la oscilación austral. *Geofísica - IPGH*, 32, 65-78.

Aceituno, P. y F. Vidal, 1990: Variabilidad interanual en el caudal de ríos andinos de Chile central en relación con la temperatura del mar en el Pacífico central. *Rev. Sociedad Ingeniería Hidráulica*, vol. 5, N° 1.

Compagnucci, R. y W. Vargas, 1993: Snowfall in the Cordillera de los Andes and the ENOS events. Preprints 4th International Conference on the Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, pp 332 - 333.

Hurrell, J. W. y van Loon, H., 1994: A modulation of the atmospheric annual cycle in the southern hemisphere. *Tellus* 46A, 325 -338.

Karoly, D. J., 1989: Southern hemisphere circulation features associated with the El Niño - Southern Oscillation events. *J. Climate*, 2, 1239 - 1252.

Tabla 1.- Ubicación geográfica de las estaciones de aforo y series utilizadas

Río	Estación	Latitud	Longitud	Periodo de Datos
De los Patos	Alvarez Condarco	31° 57'	69° 42'	1950 - 1994
Castaño	Castaño	30° 58'	69° 32'	1950 - 1988
San Juan	Km. 47.3	31° 32'	68° 53'	1967 - 1994
De los Patos	La Plateada	31° 53'	69° 41'	1951 - 1994
Atuel	Atuel	35° 02'	68° 52'	1964 - 1994
Salado	Cañada Ancha	35° 13'	69° 46'	1940 - 1994
Mendoza	Guido	32° 51'	69° 16'	1956 - 1994
Mendoza	Cacheuta	33° 01'	69° 07'	1938 - 1990
Mendoza	Pta. de Vacas	32° 51'	69° 46'	1948 - 1994
Tunuyán	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1954 - 1994

Tabla 2.- Correlación entre anomalías estandarizadas de los caudales bimestrales y el IOS bimestral rezagado en seis meses.

Río	Estación	En-Fe	Ma-Ab	My-Jn	Jl-Ag	Se-Oc	No-Di
De los Patos	Alvarez Condarco	-0.58	-0.51	-0.47	-0.24	-0.31	0.02
Castaño	Castaño	-0.59	-0.57	-0.51	-0.46	-0.39	-0.001
San Juan	KM 47.3	-0.59	-0.47	-0.51	-0.30	-0.53	-0.08
De los Patos	La Plateada	-0.57	-0.55	-0.52	-0.23	-0.31	0.01
Atuel	Atuel	-0.43	-0.42	-0.47	-0.08	-0.23	-0.06
Salado	Cañada Ancha	-0.43	-0.41	-0.39	-0.25	-0.17	-0.10
Mendoza	Guido	-0.53	-0.48	-0.46	-0.17	-0.36	-0.13
Mendoza	Cacheuta	-0.53	-0.40	-0.30	-0.27	-0.38	-0.18
Mendoza	Pta. de Vacas	-0.62	-0.20	-0.57	-0.09	-0.25	-0.04
Tunuyán	Valle de Uco	-0.57	-0.56	-0.43	-0.14	-0.21	-0.12

Tabla 3.- Correlación entre anomalías estandarizadas de los caudales bimestrales hasta 1978 y el IOS bimestral rezagado en seis meses.

Río	Estación	En-Fe	Ma-Ab	My-Jn	Jl-Ag	Se-Oc	No-Di
De los Patos	Alvarez Condarco	-0.56	-0.61	-0.50	-0.16	-0.17	-0.01
Castaño	Castaño	-0.55	-0.54	-0.45	0.01	-0.12	-0.01
San Juan	KM 47.3	-0.42	-0.44	-0.37	-0.05	-0.20	-0.38
De los Patos	La Plateada	-0.55	-0.52	-0.43	-0.09	-0.08	0.02
Atuel	Atuel	-0.27	-0.37	-0.35	0.12	0.30	-0.03
Salado	Cañada Ancha	-0.51	-0.46	-0.45	-0.31	-0.03	-0.21
Mendoza	Guido	-0.46	-0.53	-0.37	-0.03	-0.03	-0.23
Mendoza	Cacheuta	-0.49	-0.40	-0.19	-0.27	-0.27	-0.30
Mendoza	Pta. de Vacas	-0.54	-0.09	-0.44	-0.01	-0.02	-0.14
Tunuyán	Valle de Uco	-0.46	-0.46	-0.21	-0.26	-0.14	-0.14

Tabla 4.- Correlación entre anomalías estandarizadas de los caudales bimestrales desde 1979 y el IOS bimestral rezagado en seis meses.

Río	Estación	En-Fe	Ma-Ab	My-Jn	Jl-Ag	Se-4Oc	No-Di
De los Patos	Alvarez Condarco	-0.74	-0.40	-0.43	-0.13	-0.25	0.10
Castaño	Castaño	-0.74	-0.60	-0.46	-0.86	-0.67	0.09
San Juan	KM 47.3	-0.79	-0.51	-0.47	-0.29	-0.52	0.11
De los Patos	La Plateada	-0.75	-0.59	-0.51	-0.19	-0.42	0.04
Atuel	Atuel	-0.65	-0.47	-0.45	0.09	-0.26	-0.04
Salado	Cañada Ancha	-0.18	-0.19	-0.14	-0.12	-0.23	-0.01
Mendoza	Guido	-0.80	-0.61	-0.49	0.05	-0.15	0.01
Mendoza	Cacheuta	-0.67	-0.56	-0.36	0.17	-0.14	0.25
Mendoza	Pta. de Vacas	-0.82	-0.33	-0.61	0.08	-0.37	0.16
Tunuyán	Valle de Uco	-0.77	-0.68	-0.73	0.29	-0.03	-0.06

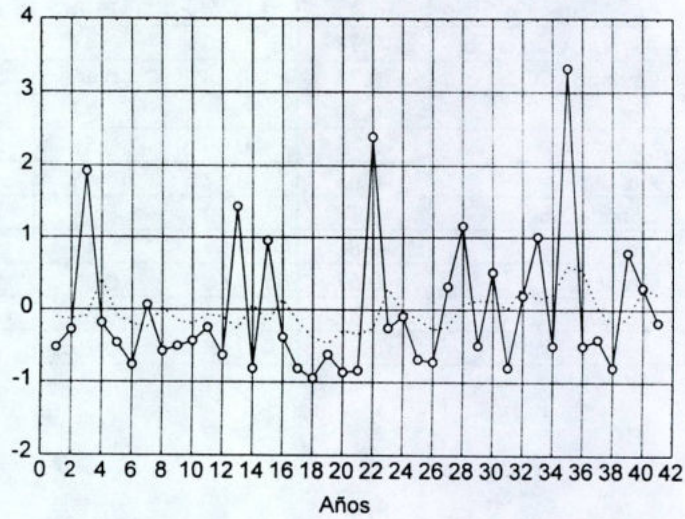


Figura 1.- Regresión que ajusta las anomalías de caudal en enero-febrero utilizando las anomalías de caudal de julio-agosto. La línea llena representa los valores observados y la línea de puntos representa los valores obtenidos con el modelo de regresión.

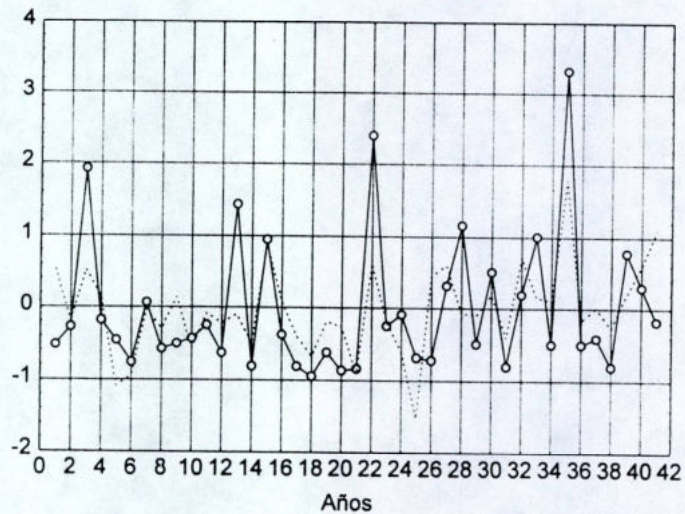


Figura 2.- Regresión que ajusta las anomalías de caudal en enero-febrero utilizando las anomalías de caudal y el IOS de julio-agosto. La línea llena representa los valores observados y la línea de puntos representa los valores obtenidos con el modelo de regresión.

## **PREDICCIÓN DEL DERRAME ESTACIONAL PROVENIENTE DEL DERRETIMIENTO DE NIEVE EN RÍOS CORDILLERANOS DE ARGENTINA**

Eduardo A. FLAMENCO  
Evaluación de Recursos S.A.  
Buenos Aires, Argentina

El objetivo de este estudio es la predicción del derrame en el río Colorado, en el sur de la provincia de Mendoza, durante el período octubre-marzo, en función de las anomalías de las temperaturas de la superficie del Océano Pacífico Ecuatorial (TSM) y del índice de oscilación del Sur (IOS). Esta etapa inicial está orientada a la búsqueda de estas relaciones en el río Colorado. Posteriormente se extenderá el estudio a otros ríos cordilleranos como ser el río San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel, cuyos escurrimientos provienen del derretimiento de nieve. Asimismo se estudiarán los ríos Neuquén, Collón Curá, Limay, Chubut y Futaleufú, en los que el escurrimiento proviene de las lluvias durante la época estival.

La cuenca del río Colorado tiene una superficie de 15.300 km<sup>2</sup> hasta la estación de medición de caudales denominada Buta Ranquil, situada 20 km agua abajo de la confluencia de los ríos Barrancas y Grande. Está ubicada geográficamente al sur de la provincia de Mendoza, entre los paralelos 35 S y 37 15' S y los meridianos 69 30' O y 70 20' O. Aguas abajo de la estación de aforos mencionada, a unos 280 km aproximadamente se encuentra emplazado el aprovechamiento hidroeléctrico Casa de Piedra, que comenzará a generar a partir del mes de Octubre de 1995.

Desde el punto de vista hidrológico, y considerando la serie 1940-1994, resulta ser el más importante de los ríos cuyanos ya que su módulo es de 148 m<sup>3</sup>/s. La onda estacional comprende el período Octubre-Marzo, y los aportes provienen fundamentalmente del derretimiento de nieve.

Cada año en el mes de Setiembre, luego de que ocurren las últimas nevadas más importantes, se estiman los derrames a esperar desde Octubre a Marzo y la distribución de caudales medios mensuales. En el cálculo de estas previsiones, la variable de mayor peso es el equivalente en agua de la nieve en las zonas de acumulación; es decir, en las altas cuencas de los ríos Barrancas y Grande, donde se hallan ubicadas las estaciones nivométricas Pehuenche y Laguna del Valle Hermoso respectivamente. Estos pronósticos resultan de gran importancia para la programación de la generación hidráulica y para riego ya que aguas abajo de Casa de Piedra se encuentran importantes distritos agrícolas en la región de la Pampa Húmeda. Si bien los pronósticos estacionales se emiten en el mes de Setiembre de cada año, los operadores de las centrales hidráulicas y los operadores de riego han manifestado en distintas oportunidades la necesidad de conocer con mayor anticipación los escurrimientos de la época estival.

El desarrollo de un modelo de pronóstico de nieve acumulada, en función de la variabilidad climática en el Océano Pacífico Ecuatorial implica el uso posterior de otro modelo que permita el cálculo definitivo del volumen de agua estacional. Las predicciones de cada uno de estos modelos tendrá una dada incertidumbre, así que la utilización de dos modelos podría aumentar la incertidumbre en el producto final. La hipótesis de trabajo es que la utilización de un solo modelo podría reducir tal incertidumbre. Por lo tanto en este trabajo se buscan las relaciones entre la variabilidad climática en el Océano Pacífico Ecuatorial y los volúmenes estacionales, prescindiendo del cálculo previo de la acumulación de nieve.

En primer lugar se estudió la relación entre el volumen del período Octubre-Marzo en la estación Buta Ranquil y las anomalías mensuales de las TSM en las regiones denominadas Niño3 y Niño4 y el IOS. Se consideraron diferentes rezagos y, en general, se obtuvieron mejores resultados al considerar promedios móviles cada 3 meses, tanto de las TSM como del IOS. Estos resultados se resumen en la Tabla 1.

Se realizó un análisis de regresión múltiple "step-wise" que permite seleccionar las variables independientes que tienen mayor peso, y para ello se empleó los datos de TSM en el Niño4. El modelo obtenido fue:

$$\text{STDV} = .4348*\text{FMA} - .4683*\text{MJJ} + .7826*\text{OND} + .00067,$$

donde STDV representa la anomalía del volumen en el período Octubre-Marzo, FMA representa el promedio de las anomalías del Niño4 en el período Febrero-Abril, MJJ idem para el período Mayo-Julio y OND idem para el período Octubre-Diciembre. El coeficiente de correlación entre los valores observados y los calculados mediante el modelo de regresión múltiple es 0.62, al considerar la serie completa 1949-1994.

A los fines de validar el modelo anterior, la serie original se dividió en dos períodos. El período 1949-1980 se utilizó para calcular los coeficientes de regresión, obteniéndose:

$$\text{STDV} = .3448 * \text{FMA} - .0299 * \text{MJJ} + .3427 * \text{OND} + .0304$$

Se utilizó el período 1981-1994 para validar el modelo, lo cual se hizo de dos formas diferentes: caso A considerando los coeficiente de regresión constante en el tiempo a partir del año 1981, y caso B actualizando cada año la serie de tiempo a partir de 1981 y recalculando los coeficientes de regresión. El caso B permite incorporar información constantemente, como por ejemplo el evento extraordinario del año hidrológico 1982/83.

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para el período de validación 1981-1994 se muestran en la Figura 1. También se realizó la validación del modelo mediante un análisis discriminante. En primer lugar se caracterizó el régimen del escurrimiento según 4 categorías: seco (S), medianamente seco (MS), medianamente húmedo (MH) y húmedo (H), de acuerdo a los respectivos cuartiles de la serie histórica. Así, las Tablas 2 y 3 muestran los resultados del análisis de contingencia de cada modelo descripto arriba como casos A y B, respectivamente.

De un total de 14 pronósticos se obtuvieron 8 y 9 aciertos, significando ello una efectividad del 57% y 64% respectivamente para los casos A y B. En el caso de aceptar como acierto la diferencia de una categoría, la efectividad resulta del 78% y 86%, respectivamente. A pesar de que los resultados del caso B son ligeramente mejores, la diferencia no resulta significativa. Otra forma de interpretar estos resultados es la siguiente: en ningún caso cualquiera de los 2 modelos produjo un resultado totalmente erróneo, es decir el pronóstico de una situación húmeda durante una situación seca, o viceversa.

Para poder aplicar el modelo propuesto en el mes de Enero, es necesario disponer de pronósticos TSM del Océano Pacífico Ecuatorial para los meses de Febrero hasta Diciembre. Ese primer pronóstico emitido en el mes de Enero puede ser actualizado cada mes con las observaciones más recientes de las TSM. Al llegar el mes de Setiembre puede incorporarse al pronóstico los datos sobre acumulación de nieve durante el período invernal.

En el futuro se planea realizar un estudio similar al presente pero aplicado a los ríos Diamante y Atuel. En la actualidad se realizan estos pronósticos pero utilizando modelos autorregresivos. Estos modelos sólo emplean como predictores a la misma variable rezagada en el tiempo, por lo que los residuos obtenidos en algunos casos son significativos. La idea es entonces incorporar variables exógenas, como por ejemplo las anomalías de TSM en el Océano Pacífico y el IOS a los efectos de minimizar los residuos y poder extender el período de pronóstico.

Tabla 1.- Coeficientes de correlación entre los volúmenes del período Octubre-Marzo en la estación Buta Ranquil y las TSM de las regiones Niño3, Niño4 y IOS en los trimestres indicados. El período de análisis es 1949-1994.

	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	DEF
Niño3	0.27	0.36	0.41	0.41	0.40	0.39	0.43	0.48	0.52	0.52	0.51	0.48
Niño4	0.27	0.36	0.40	0.40	0.39	0.39	0.43	0.48	0.52	0.53	0.51	0.48
IOS	-0.16	-0.22	-0.40	-0.51	-0.53	-0.51	-0.48	-0.52	-0.50	-0.49	-0.37	-0.39

Tabla 2.- Resultado de la validación del modelo de pronóstico del volumen del período Octubre-Marzo en la estación Buta Ranquil a partir de las anomalías mensuales de TSM observadas en la región Niño4 en el período Febrero-Diciembre. S: seco , MS: medianamente seco, MH: medianamente húmedo y H: húmedo. Período: 1981-1994. Coeficientes de regresión múltiple constantes en el tiempo

Observado	Pronosticado			
	Seco	Medio Seco	Medio Húmedo	Húmedo
Seco	0	2	1	0
Medio Seco	0	2	0	1
Medio Húmedo	0	0	4	1
Húmedo	0	1	0	2

Tabla 3.- Idem Tabla 2 pero los coeficientes de la regresión múltiple se actualizan cada año.

Observado	Pronosticado			
	Seco	Medio Seco	Medio Húmedo	Húmedo
Seco	0	1	2	0
Medio Seco	0	2	1	0
Medio Húmedo	0	0	5	0
Húmedo	0	0	1	2

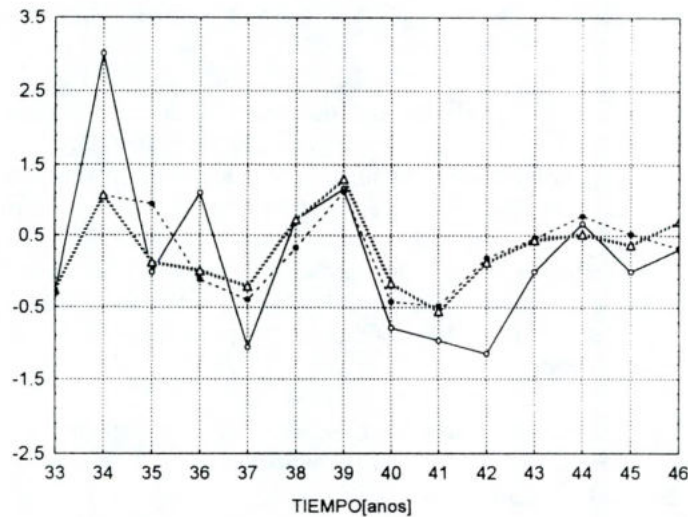


Figura 1.- Estación Buta Ranquil. Período Octubre-Marzo (1981-1994). La curva llena representa los valores observados, la curva punteada fina representa los valores pronosticados según modelo A y la curva punteada gruesa representa los valores pronosticados según modelo B .

## **RELACIONES ENTRE LAS MANIFESTACIONES DEL ENOS Y EL COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN LA CUENCA DEL RIO IGUAZU, ARGENTINA.**

Marcela Alejandra GHETTO

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral  
Santa Fé, Argentina

La cuenca del río Iguazú es parte integrante de La Cuenca del Plata, sistema hidrológico de singular importancia en América del Sur, no sólo por las características físico-hidrológicas que presenta, sino también por la dimensionalidad que alcanzan en la región los impactos socio-económicos de sus situaciones extremas.

La región de influencia del río Iguazú se extiende aproximadamente entre los paralelos de 24°S y 28° S y entre los meridianos de 49°O y 55°O, comprendiendo una superficie total de 64.000 km<sup>2</sup>. Nace en la región sur del Brasil en el estado de Paraná cercano al Océano Atlántico y conforma en su último tramo el límite entre éste país y la República Argentina, desembocando en el Río Paraná en el punto geográfico denominado "Tres Fronteras" .

Las características particulares de la Cuenca del río Iguazú permiten considerar ciertas simplificaciones frente al sistema hidrológico que la gobierna. Se trata de una cuenca de dimensiones reducidas, en comparación con las dimensiones de la Cuenca del río Paraná. Posee un coeficiente de escurrimiento superior al coeficiente medio de la cuenca que la contiene permitiendo considerar que desde el momento en que ocurre una precipitación hasta que ésta se manifiesta en el punto de salida del río Iguazú, el tiempo transcurrido es relativamente bajo, entre 5 a 6 días, existiendo un mínimo retardo y una baja capacidad de regulación. Los volúmenes de pérdidas son del orden del 50% de las lluvias caídas, lo que nos permite suponer una relación lluvia-caudal casi directa, lo cual a los efectos de un primer análisis es muy importante, ya que descartaríamos el comportamiento regulador de los distintos niveles de almacenamiento del ciclo hidrológico.

La región de emplazamiento de la cuenca de análisis presenta un régimen de precipitaciones con disminución en la época invernal y con valores medios del orden de los 1600 mm a 2000 mm. El régimen de caudales se comporta en forma distintiva al resto de la cuenca del río Paraná, teniendo los máximos valores en invierno-primavera, aproximadamente entre los meses de mayo a noviembre, con dos picos importantes, uno en el mes de julio y otro en el mes de noviembre.

El río Iguazú posee cuatro embalses de más de 1 km<sup>3</sup> de capacidad destinados exclusivamente a la generación de energía eléctrica, Foz de Areia, Salto Osorio, Salto Santiago y Capanema. Debido a que el objetivo del presente trabajo es focalizar el análisis en la ocurrencia y el comportamiento de caudales medios máximos mensuales y/o estacionales, las obras hidroeléctricas mencionadas anteriormente, no provocan alteraciones al régimen de caudales con paso mensual, estacional o anual por su escasa capacidad de regulación, lo que las convierte en centrales de paso. Para las cuatro estaciones se cuenta con registros de caudales medios mensuales desde el año 1932 hasta el año 1990. A los efectos de analizar la aleatoriedad de las series, se estudió el comportamiento de los caudales a lo largo de la serie de registros en sus valores medios mensuales y medios anuales. Se pudo observar un comportamiento similar a nivel anual de los cuatro puntos considerados.

Teniendo en cuenta que los caudales observados en Capanema son representativos del comportamiento de toda la cuenca, se los utilizó para analizar las relaciones con las temperaturas de la superficie del mar (TSM) en el Océano Pacífico Ecuatorial y el Índice de Oscilación del Sur (IOS).

El análisis de los caudales se centró en los meses considerados críticos para la ocurrencia de situaciones extremas. Así, se analizó el período del año que tiene mayores posibilidades de producir inundaciones, esto es el período comprendido entre los meses de mayo a noviembre.

Se relacionaron los caudales máximos del río Iguazú con los índices obtenidos en las tres regiones del Océano Pacífico Ecuatorial denominadas Niño1+2, Niño3 y Niño4, como así también el IOS. El período de análisis comprende los años 1949 a 1990. Los datos originales fueron convertidos en anomalías estandarizadas, removiéndose el ciclo anual de las series.

En las tablas 1 a 3 se puede observar los resultados obtenidos al aplicar el análisis de regresión lineal. Se muestran sólo los resultados obtenidos utilizando Niño3, ya que los otros predictores no arrojaron, en general, resultados que sean estadísticamente significativos.

Los mayores valores de correlación se obtuvieron para los meses de julio y noviembre. Cabe destacar a su vez que al agrupar los caudales en bimestres y trimestres se eliminó las altas frecuencias y se logró correlaciones más significativas. Estos resultados nos muestran una mejor situación para pronosticar aquellos meses con valores altos de caudales o en los que se dan los picos de las avenidas de la cuenca. En el mes de noviembre, las señales más fuertes se obtuvieron a partir de la segunda mitad del año.

También se aplicó el análisis de validación cruzada a aquellas series que a través del método de regresión lineal mostraron altos coeficientes de correlación y altos valores de significancia. De acuerdo con ello se analizó sólo aquellos resultados obtenidos con el predictor Niño3. En la Tabla 4 se puede observar los resultados obtenidos: Skill local igual a 61.90 para el bimestre Ago-Set, con una significancia de 0.99. Esto indica que a comienzos de octubre, es decir con los datos del bimestre agosto-septiembre, podríamos dar un pronóstico de los caudales del mes de noviembre. Estos pronósticos serían acertados en un 61.9% de los casos, mientras que la probabilidad de obtener el mismo resultado al azar sería menor o igual que 1%. Análogamente podemos decir que a comienzos de junio, es decir con 4 meses de anticipación, podríamos predecir los caudales de noviembre, los que serían acertados en el 47.62% de los casos.

En la Figura 1 se comparan los caudales observados en el mes de noviembre con los pronosticados a partir de los observaciones de la región Niño3 en el bimestre agosto-septiembre. Estos pronósticos son el resultado de la validación cruzada utilizando el modelo de regresión lineal aplicado al período 1949-1990.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con este análisis muestran que las TSM en la región Niño3 del Océano Pacífico ecuatorial se correlacionan muy significativamente con los caudales en la cuenca del río Iguazú. Las relaciones más significativas se obtienen entre los caudales del mes de noviembre y las TSM observadas hasta 3 meses antes. Esto permite utilizar las relaciones halladas para preparar pronósticos de caudales con un grado de acierto que supera ampliamente al azar.

En cambio, el análisis de validación cruzada aplicado a los caudales del mes de julio no muestra una señal importante a pesar de haberse encontrado un coeficiente de correlación significativo entre las observaciones y los predictores considerados.

Al graficar los caudales observados y los pronosticados mediante el análisis de validación cruzada, se evidencia que hacia el final de la serie, aproximadamente a partir del año 1973, se producen desfasajes entre ambos valores. Cabe recordar, que a partir de éste período y hasta la actualidad el sistema hidrológico de la Cuenca del Plata estaría atravesando un período muy húmedo que se traduciría en un cambio importante en el comportamiento de los caudales con respecto a la primera parte de la serie considerada. Esta situación podría estar produciendo ciertos ruidos en los estimadores muestrales obtenidos para todo el período de análisis y provocaría que al estimar los últimos años no se verifique el acomodamiento observado en los primeros.

La no consideración del IOS como predictor en este primer análisis no significa que no sea tenido en cuenta en posteriores estudios. Este índice presenta la mayor variabilidad a nivel mensual, motivo por el cual se recomienda promediarlo durante varios meses ya que de esta forma se logra suavizar la variabilidad mencionada.

Tabla 1.- Coeficientes de correlación entre las anomalías de caudales medios mensuales y las temperaturas en la región Niño3.

Anomalías de Caudales	Temperaturas en la región Niño3									
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
May	0.01	0.35	0.38	0.48						
Jun	0.05	0.22	0.25	0.26	0.10					
Jul	0.28	0.49	0.48	0.47	0.38	0.45				
Ago	0.26	0.00	0.16	0.16	0.21	0.25	0.26			
Set	0.23	0.06	0.19	0.15	0.19	0.25	0.28	0.24		
Oct	0.32	0.24	0.26	0.29	0.26	0.34	0.27	0.24	0.33	
Nov	0.62	0.15	0.22	0.26	0.35	0.45	0.45	0.40	0.46	0.55

Tabla 2.- Coeficientes de correlación entre las anomalías de caudales medios bimestrales y las temperaturas en la región Niño3.

Anomalías de Caudales	Temperaturas en la región Niño3								
	EF	FM	MA	AM	MJ	JJ	JA	AS	SO
May	0.38	0.45	0.39						
Jun	0.24	0.26	0.20	0.14					
Jul	0.50	0.49	0.47	0.43	0.45				
Ago	0.08	0.16	0.20	0.24	0.26	0.26			
Set	0.13	0.17	0.19	0.24	0.28	0.27	0.27		
Oct	0.25	0.28	0.31	0.32	0.31	0.27	0.29	0.33	
Nov	0.19	0.25	0.34	0.42	0.47	0.44	0.44	0.52	0.57

Tabla 3.- Coeficientes de correlación entre las anomalías de caudales medios trimestrales y las temperaturas en la región Niño3.

Anomalías de Caudales	Temperaturas en la región Niño3							
	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO
May	0.43	0.41						
Jun	0.26	0.23	0.20					
Jul	0.51	0.50	0.48	0.45				
Ago	0.11	0.20	0.23	0.26	0.27			
Set	0.14	0.20	0.22	0.26	0.28	0.28		
Oct	0.22	0.30	0.33	0.32	0.30	0.30	0.31	
Nov	0.22	0.31	0.39	0.45	0.47	0.46	0.49	0.55

Tabla 4a.- Resultados de la validación cruzada al predecir los caudales medios mensuales de julio utilizando las temperaturas de la región Niño3 en diferentes bimestres

	Caudales Observados		Caudales Calculados		
	Coef. Correlación.	Fo	Coef. Correlación	Acierto	Significancia
Ene-Feb	0.50	13.07	0.06	30.95	0.44
Feb-Mar	0.49	12.92	0.04	28.57	0.32
Mar-Abr	0.47	11.22	0.01	35.71	0.69
Abr-May	0.43	9.24	0.03	35.71	0.69

Tabla 4b.- Resultados de la validación cruzada al predecir los caudales medios mensuales de noviembre utilizando las temperaturas de la región Niño3 en diferentes bimestres

	Caudales Observados		Caudales Calculados		
	Coef. Correlación	F0	Coef. Correlación	Acierto	Significancia
Abr-May	0.42	8.58	0.32	52.38	0.99
May-Jun	0.47	11.13	0.37	47.62	0.98
Jun-Jul	0.44	9.83	0.36	47.62	0.98
Jul-Ago	0.44	9.52	0.34	50.00	0.99
Ago-Set	0.52	15.16	0.41	61.90	0.99
Set-Oct	0.57	18.94	0.44	54.76	0.99

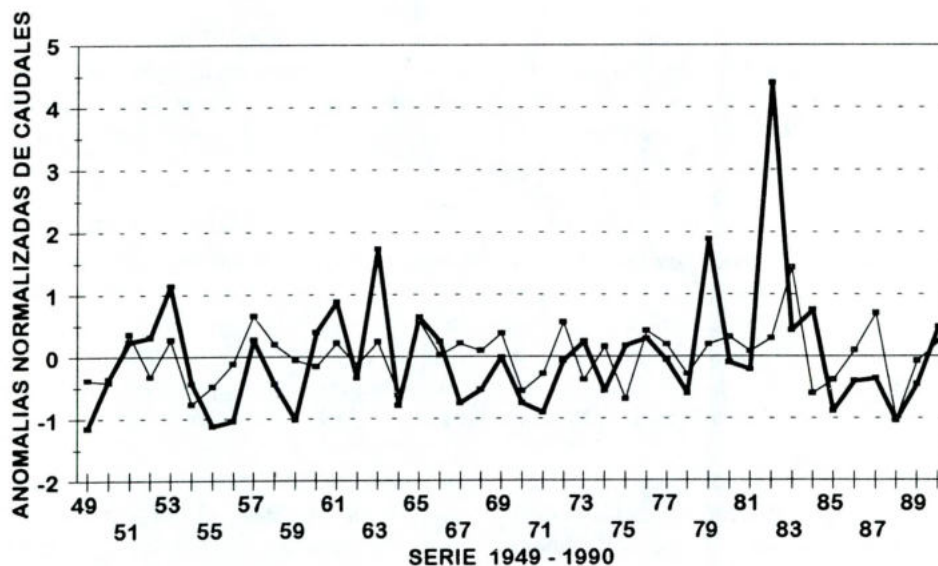


Figura 1.- Resultado de la validación cruzada aplicando el modelo de regresión lineal a los datos del período 1949-1990. La línea gruesa representa los caudales del mes de noviembre. La línea fina representa los caudales pronosticados para el mes de noviembre a partir de las observaciones de las TSM en la región Niño3 durante el bimestre agosto-septiembre.

## **RELACION ENTRE LA VARIABILIDAD DE CAUDALES EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA Y LOS INDICADORES DEL ENOS**

Maria C. MOYANO  
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica  
Buenos Aires, Argentina

Se realiza un análisis exploratorio entre las temperaturas de la superficie del mar (TSM) en el Océano Pacífico de la región denominada Niño3 y las anomalías de caudales y de precipitación en la zona deprimida del Río Salado, dada la vinculación entre las anomalías de temperatura en el Pacífico y los fenómenos hidrológicos en la Pampa Húmeda de la Argentina. En el análisis se busca representar una zona de 91.505 km<sup>2</sup> conocida como la Cuenca del Río Salado cuya actividad principal es la ganadería en un 90% y en grado menor se cultiva trigo, maíz y soja.

La característica principal del terreno es la baja pendiente, extendiéndose desde la cota 86 m sobre el nivel del mar (sur de Santa Fe) hasta cota cero en la desembocadura en el Río de La Plata. La pendiente media en la cuenca alta alcanza 25m/km y en la parte media y baja es 0.14 m/km. Estas características dificultan el escurrimiento quedando el agua precipitada retenida en las depresiones del terreno con un coeficiente de escorrentía aproximado de 0.10. La sección en Guerrero fue elegida por la longitud de sus registros (1932-89) y por la proximidad a la desembocadura. Las estaciones meteorológicas consideradas tenían registros variables entre 1888 y 1990.

La interacción entre el océano y la atmósfera tropical en el Pacífico da origen a una oscilación irregular del sistema entre dos fases: la fase cálida (El Niño) y la fase fría (La Niña). En la Argentina se asocia el efecto principal de la fase cálida con un aumento de la precipitación en el Noreste del país. Los índices que se emplean son las temperaturas del mar en regiones ecuatoriales del Océano Pacífico, por ejemplo Niño3 y el llamado índice de oscilación del Sur (IOS) que es positivo para eventos fríos y negativo para eventos cálidos.

En la Figura 1 se observan los valores anuales de las anomalías de TSM en la región Niño3 y de los caudales en la estación Guerrero. Se observa que los extremos se encuentran en fase con las anomalías excepto para las grandes inundaciones. Se aprecia bien la relación existente entre las señales aunque no siempre es tan directa. Por ejemplo en el año 1980-81 las anomalías positivas de caudales exceden cinco veces el desvío estándar y esto no se refleja en la misma magnitud en las anomalías de meses anteriores del Niño3. Otro caso sin buena correspondencia es el episodio cálido de 1982-83 que ha sido el más intenso registrado a nivel de anomalías de presión y temperatura, sin embargo su efecto sobre los caudales en esta cuenca de la Provincia de Buenos Aires no fue tan intenso.

La relación observada entre variables oceánicas e hidrológicas permite desarrollar regresiones lineales entre caudales o lluvias y variables remotas indicadores del fenómeno ENOS. Se ha empleado el programa CLIMLAB, desarrollado por el International Research Institute for Climate Prediction, Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University.

El modelo estadístico empleado es una regresión lineal simple. La variable independiente o predictor es la TSM en la región Niño3 del Océano Pacífico, mientras que la variable dependiente o predictando es el caudal en la estación Guerrero. Se ha elegido el Niño3 por ser una de las variables que se usan en los modelos físicos de predicción y que está disponible en los boletines de diagnóstico climático.

### **CONCLUSIONES**

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los modelos de regresión empleados para la predicción de los caudales mensuales en la estación Guerrero en base a la temperatura del Niño3. Esta Tabla incluye el grado de ajuste de la regresión (coeficiente de correlación), el nivel de significancia (F), la ordenada y pendiente de la ecuación lineal. La relación entre el caudal y la TSM del Niño3 es directa.

La relación entre las anomalías de las variables hidrológicas en la zona deprimida del Río Salado y las TSM en el Niño3 es estadísticamente significativa. El mejor ajuste se logra al predecir la precipitación media de la cuenca con un mes de anticipación. Se observa una disminución en la bondad del ajuste al predecir las lluvias de primavera en base a las TSM en otoño previo. La predicción de los caudales en función del Niño3 resulta menos acertado que la predicción de la precipitación en la cuenca. Es importante mencionar que se observa una definida tendencia en la cuenca hacia un estado más húmedo, a partir de los años 80 cuando el Océano Pacífico está en la fase cálida y la oscilación del Sur es negativa. La fase fría va acompañada de menores caudales. Dada la fuerte tendencia de la precipitación en la región, particularmente a partir de los años 80, se piensa analizar la variabilidad eliminando la tendencia de las series. A largo plazo se estima conveniente relacionar los excesos y déficit hídricos con la ocurrencia de episodios cálidos y fríos incluyendo el índice de oscilación del Sur.

Tabla 1.- Análisis exploratorio entre variables remotas y series hidrológicas en la cuenca del Río Salado en la Provincia de Buenos Aires. TSM representa las temperaturas en la región Niño3, PP representa la precipitación media en la cuenca y Q el caudal en la estación Guerrero.

Meses		Coeficientes de la Regresión Lineal				
		Rezago	(r)	(F)	Pendiente	Ordenada
TSM Precipitaciones						
Octubre	Noviembre	1	.46	11.86	-7026	326
Octubre	Diciembre	2	.28	3.75	-258	144
Mayo	Octubre	5	.31	4.65	-4273	192
Abril	Noviembre	7	.20	1.82	-4121	191
TSM Caudales						
Febrero	Setiembre	7	.26	2.88	-726	33.8

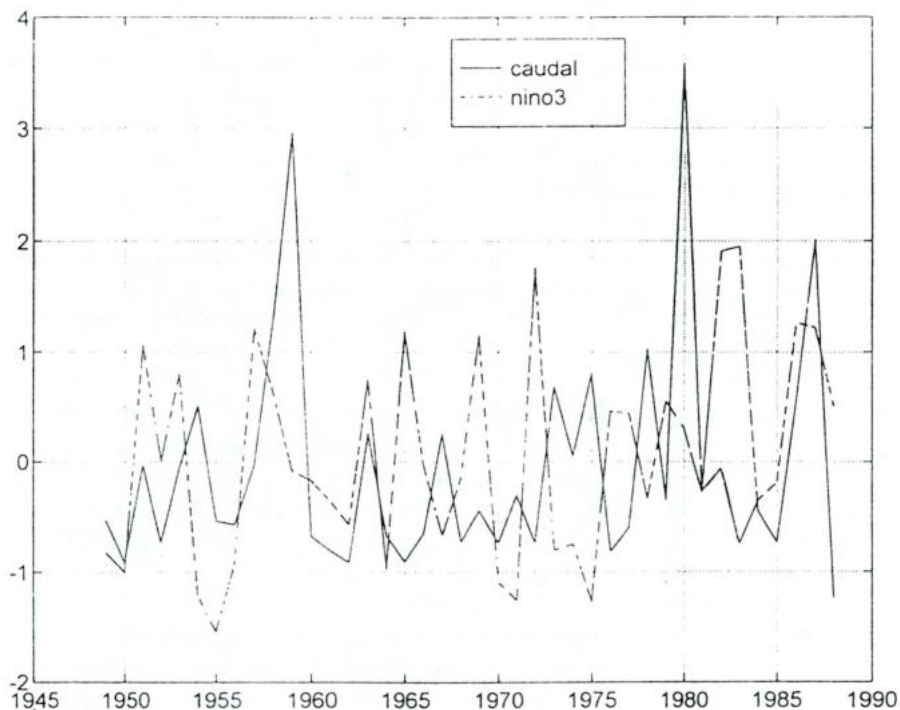


Figura 1.- Anomalías anuales de las temperaturas del Océano Pacífico en la región Niño3 (línea punteada) y de los caudales en la estación Guerrero de la cuenca del Río Salado (línea llena) en la Provincia de Buenos Aires.

## **RELACION ENTRE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMATICA Y LAS ALTURAS HIDROMETRICAS REGISTRADAS EN PUERTO PARANA, ARGENTINA**

Susana B. VANLESBERG

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral  
Santa Fe, Argentina

En este trabajo se aplican técnicas estadísticas con el fin de poder establecer posibles vinculaciones entre los efectos de la variabilidad climática y las variables hidrológicas que se analicen con algún fin determinado. Es decir, contando con información histórica de fluctuaciones climáticas se tratará de decir cuanto de la variación futura de la variable de interés es posible pronosticar de manera adecuada.

El motivo del presente análisis se fundamenta en la necesidad de contar con adecuados modelos de pronósticos de alturas hidrométricas sobre el curso del Río Paraná con adelanto de un mes como mínimo. Esto se debe a que cuando sea otorgada la concesión de la Hidrovía Paraná - Paraguay, se exigirá que en condiciones de aguas bajas (la que corresponde al 75% , es decir que posee un 75% de probabilidad de ser superada ) se garanticen 12 pies de calado.

Con esta exigencia quien resulte ser el adjudicatario deberá conocer con determinado adelanto y si es posible con una determinada seguridad las condiciones del río en cuanto a niveles, para poder tomar las medidas correspondientes y con suficiente tiempo para poder ejecutarlas.

Este estudio debería ser realizado en todas las estaciones hidrométricas ubicadas sobre el curso del Río Paraná y en aquellas en donde exista suficiente información, pero dado lo corto del tiempo disponible es que se desarrollará el análisis en Puerto Paraná. El motivo de la elección de Paraná y no Santa Fe, es que la primera se encuentra ubicada directamente sobre el curso del Paraná.

Se trabajó con la serie de alturas medias mensuales desde 1949 a 1994; la serie completa se extiende desde 1905 a 1995, pero para poder contrastarla con la serie de anomalías del Pacífico. Esta serie original fue transformada en anomalías , quitándole el valor medio y expresado en términos de su desvío estándar. Se comparó esta serie de anomalías con las series de los índices del Océano Pacífico: temperatura de la superficie del mar (TSM) de la región Niño3 y con el índice de oscilación del Sur (IOS).

La justificación de por qué trabajar con alturas hidrométricas y no caudales es que se puede considerar a la primera como una variable integradora, no generadora, ya que depende no solamente del caudal sino también de las condiciones del canal (rugosidad lateral y de fondo) las cuales suelen variar de evento a evento o de año a año y además es la medida que se toma directamente sobre el curso de agua con el menor error.

Se realizó la correlación cruzada entre las series de anomalías de alturas y del índice IOS y las TSM. El motivo de esto es determinar el desfasaje o rezago entre ambas. En el caso de las TSM el rezago fue de tres meses obteniéndose un coeficiente de correlación máximo a los tres meses igual a 0.3570. Este valor positivo estaría indicando una relación directa entre este índice y las alturas, es decir con anomalías positivas de TSM se dan anomalías positivas de alturas, correspondiendo esto a eventos Niño. Basado en este resultado se rezagaron los valores de TSM 1, 2 .... 6 meses con el fin de seleccionar luego el conjunto óptimo de variables independientes.

En el caso de IOS se obtuvieron valores siempre negativos lo cual estaría indicando relación inversa entre anomalías de este índice y las de alturas. El valor máximo se obtuvo para un rezago de seis meses con un valor de  $r$  de -0.23. Esta relación inversa indicaría que para valores de IOS altos corresponderían anomalías negativas en alturas y a la inversa. También en este caso se rezagaron los valores del índice 1, 2,..... hasta 7 meses para obtener luego el conjunto óptimo de variables independientes.

Se utilizó el procedimiento step-wise de selección del conjunto óptimo de variables independientes. Basado en el resultado arrojado por el método del paso anterior se aplicó un modelo de regresión múltiple. Se probaron varios modelos, primero utilizando cada índice con diferentes rezagos, y luego combinando ambos índices.

Primer modelo aplicado: Se utilizaron como variables independientes IOS al tiempo t, IOS rezagado 4 y 7 meses . Por lo tanto la expresión del modelo de predicción sería:

$$y = - 0.028107 - 0.138952 * IOS_t - 0.0109456 * IOS_{t-4} - 0.111171 * IOS_{t-7}$$

El valor del coeficiente de correlación múltiple obtenido fue de 0.30. Se observan en la Tabla 1 los valores de t y p. Estos valores son : t se obtiene de dividir cada coeficiente de regresión por su error estandar; asociado con este valor existe un valor de p esto indica la probabilidad que un valor mayor de t, en valor absoluto, pueda ocurrir si no existiera la contribución marginal de la variable en cuestión. Cuando este nivel es bajo significa que la variable brinda información suficiente e importante para la predicción.

Segundo modelo aplicado: En este caso se consideraron como variables independientes las seleccionadas por step-wise para TSM. Fueron los correspondientes a un rezago de uno y seis meses. En este caso el coeficiente de correlación múltiple obtenido fue de 0.40. La expresión del modelo es la siguiente:

$$y = + 0.011424 + 0.221931 * TSM_{t-1} + 0.215363 * TSM_{t-6}$$

Se muestran también en la Tabla 1 los valores de t y p, de esto se deduce que son altamente significativos los valores de los coeficientes de regresión para las variables consideradas no así para el caso de la ordenada .

Tercer modelo aplicado: En este caso se adoptaron valores de ambos índices como variables independientes: TSM rezagado uno y seis meses e IOS al tiempo t , y cuatro y siete meses hacia atrás, obteniéndose lo siguiente:

$$y = 0.252014 * TSM_{t-1} + 0.161391 * TSM_{t-3} + 0.02852 * IOS_t - 0.007810 * IOS_{t-4} - 0.070615 * IOS_{t-7}$$

En este caso el valor de r es 0.40, y el resumen se muestra en la Tabla 1.

## CONCLUSIONES

Con el fin de validar los resultados del modelo se efectuó un test de frecuencias de chi-cuadrado para verificar la validez de los modelos encontrados para realizar pronósticos . En este test se comparan los valores observados con los esperados , siendo éstos los calculados a través de la expresión del modelo en cada caso. Se aceptó la hipótesis propuesta de que las diferencias son debidas al azar, para un nivel de significación de 5%.

Se muestran además para el segundo modelo solamente, la distribución de los valores observados y los pronosticados a través del modelo, y se aprecia que la distribución es semejante, lo cual llevaría a pensar que es posible realizar pronóstico de alturas hidrométricas en puerto Paraná a través de esta expresión. Restan por hacer más verificaciones , pero en principio puede concluirse que se encuentra relación entre la variabilidad climática registrada en la zona del Pacífico Tropical y el comportamiento de la variable analizada.

Se intentará posteriormente realizar este mismo trabajo con un nivel de agregación mayor a un mes, bimestral , trimestral , etc. , siempre tratando de lograr el mejor modelo de pronóstico de alturas con suficiente adelanto.

Análisis similar se realizó para los tres modelos presentados, pero sólo se muestran los resultados del segundo modelo en la Figura 1.

Tabla 1.- Valores de t y p, obtenidos para los modelos desarrollados

	BETA	Error Estandar de BETA	B	Error Estandar de B	t(539)	p-level
<b>Modelo 1 N = 543</b>						
Intercepción			-.028	.041	-0.682	
F	-.120	.050	-.109	.045	-2.396	
B	-.153	.044	-.138	.039	-3.483	
I	-.122	.047	-.111	.043	-2.573	
<b>Modelo 2 N = 546</b>						
Intercepción			.011	.039	.290	.771
H	.215	.046	.215	.046	4.665	.000
C	.221	.046	.221	.046	4.803	.000
<b>Modelo 3 N = 543</b>						
B	.253	.057	.252	.057	4.41	.783
C	.162	.062	.161	.062	2.58	.000
D	.031	.053	.028	.048	.59	.010
E	-.008	.053	-.007	.048	-.15	.552
F	-.077	.051	-.070	.046	-1.50	.873

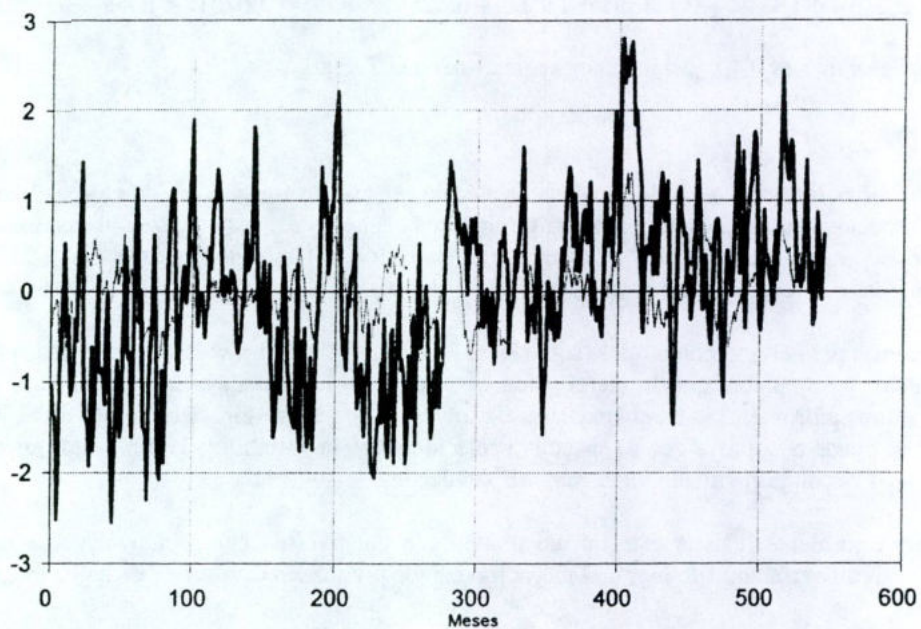


Figura 1.- Distribución de los valores observados y pronosticados para el segundo modelo (ver texto para detalles del modelo).

## **INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE LOS CICLOS DEL ENOS Y LA TEMPERATURA MEDIA EN LA ARGENTINA**

Daniel A. VILA  
Servicio Meteorológico Nacional  
Buenos Aires, Argentina

La posibilidad de predecir la variabilidad estacional e interanual en los procesos hidrológicos es de fundamental importancia en la planificación de los recursos hídricos. Dicha posibilidad está relacionada con el conocimiento de las perturbaciones en la circulación general de la atmósfera en dicha escala de tiempo. La mayor fuente de variabilidad en la circulación atmosférica se encuentra asociada al fenómeno conocido como El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) el cual afecta a vastas regiones del planeta.

En el presente trabajo se realiza una introducción al estudio de la variabilidad estacional e interanual del campo de la temperatura media en la República Argentina y su relación con la temperatura superficial de Océano Pacífico Ecuatorial.

La temperatura es un parámetro importante en el monitoreo de los regímenes hídricos y en la evolución de los sistemas agronómicos. Esta variable tiene una directa influencia en la evaporación y la evapotranspiración, como así también el derretimiento de nieve. Todos estos procesos son importantes en diferentes regiones del país.

La llanura pampeana, de muy escasa pendiente, sufre cíclicamente períodos secos y húmedos, provocando estos últimos serios anegamientos en vastas zonas de la región centro-este del país. El mecanismo de la evaporación es el más eficiente para evacuar el agua de las zonas inundadas dado que el escurrimiento superficial es muy lento en toda la zona. Aquí se encuentra el polo de desarrollo agrícola-ganadero más importante del país. Sobre el oeste del país se encuentra la Cordillera de los Andes. Los ríos que nacen en la misma son de régimen nival y sobre los mismos se encuentran importantes emprendimientos hidroeléctricos. La posibilidad de predecir las anomalías de temperatura para las estaciones de primavera y verano se verá reflejada en un mayor o menor derretimiento de la nieve acumulada en el invierno, y por lo tanto, un mayor o menor caudal en la estación estival.

Como una introducción al estudio de la problemática de la predicción climática de la temperatura se seleccionó la variable temperatura media mensual. El período de estudio fue de treinta y tres años entre 1961 y 1993 para las estaciones pertenecientes a la red del Servicio Meteorológico Nacional. De toda la información disponible se seleccionaron aquellas estaciones que cumplieran con los siguientes requisitos: 1) por lo menos 9 meses de datos por cada año de información. 2) si en algún mes no se disponía del dato de temperatura media mensual, el mismo fue rellenado con el valor medio para dicho mes. En el caso de que dichos faltantes superaran los tres datos para un determinado mes en los treinta y tres años considerados (10%), o más de doce en total para una estación en particular, la misma fue descartada.

Luego de realizar dicha selección se conformó una base de datos de cincuenta estaciones, cuya ubicación se puede visualizar en la Figura 1. La mayoría de las ellas se encuentran en la zona central del país.

Para cada una de las estaciones seleccionadas se calcularon los promedios trimestrales de temperatura media para los trimestres de enero-febrero-marzo (EFM), abril-mayo-junio (AMJ), julio-agosto-setiembre (JAS) y octubre-noviembre-diciembre (OND). Luego se computaron las anomalías normalizadas (en adelante AN) para cada uno de estos períodos, considerando el valor medio trimestral y el desvío estándar para el período 1961-1990.

Una metodología similar se siguió para el cálculo de las anomalías normalizadas trimestrales del índice Niño3. En este caso los valores medios trimestrales y los desvíos estándar se calcularon en base al período 1951-1980.

A partir de la información generada, se establecieron correlaciones simples entre las anomalías trimestrales normalizadas del índice Niño3 como variables predictoras y las anomalías trimestrales normalizadas de la temperatura

media para cada una de las estaciones seleccionadas como predictandos. En un primer momento se establecieron dichas regresiones lineales para instantes de tiempo simultáneos, para luego extender la metodología con rezagos de 3, 6 y 9 meses entre los predictores y los predictandos respectivamente. De cada una de las correlaciones realizadas se obtuvo un valor de coeficiente de correlación entre el valor observado del predictando y el modelo lineal propuesto. La significancia estadística de dichos coeficientes fue testeada a través de un test F de Snedecor al 95% de confianza. Como resultado de dicho análisis se obtuvieron una mayor cantidad de coeficientes de correlación estadísticamente significativos para las siguientes regresiones:

ESQUEMA 1:	Predictor: AN Niño3 EFM	Predictando: AN Temp. Media EFM
ESQUEMA 2:	Predictor: AN Niño3 EFM	Predictando: AN Temp. Media JAS

En la Figura 2 se muestran los resultados de los coeficientes de correlación obtenidos para cada uno de los análisis precedentes. Es de destacar que para el Esquema 1 la relación es directa (pendiente de la recta de regresión positiva), mientras que para el Esquema 2 la correlación entre el predictor y los predictandos es inversa (pendiente negativa).

Para validar los resultados obtenidos se realizó una validación cruzada, ya que se disponía de un período muy corto (treinta y tres años) como para realizar un modelo y luego verificarlo con una serie independiente.

Los resultados de la validación cruzada se pueden visualizar a través del skill local. Este procedimiento divide a la serie en terciles: por encima de lo normal, normal y por debajo de lo normal. Luego se considera un acierto en el pronóstico si el mismo coincide con el tercil de la observación. Para que el mismo sea significativo, este debe superar la chance del azar (33%). A partir de esta metodología se produjeron los skills locales para las cincuenta estaciones obteniéndose, para el primer esquema, quince estaciones cuyo skill era estadísticamente significativo al 90%. Los valores obtenidos fueron superiores al 42% y menores al 49%. Dichas estaciones coinciden aproximadamente con la zona geográfica donde los coeficientes de regresión son estadísticamente significativos (Figura 2, izquierda). En cambio, para el segundo esquema solamente cinco estaciones superan el 90% de significancia estadística.

Debido a que la provincia de Buenos Aires ha mostrado valores estadísticamente significativos en ambos esquemas, y el uso potencial de un pronóstico climático en dicha región del país, se realizó un análisis más detallado en la elección de los predictores y los predictandos para estudiar la sensibilidad del modelo. Así también se extendieron las correlaciones a rezagos de 1 a 18 meses.

Para la generación de los predictores se tomaron promedios móviles de tres meses del índice Niño3 a los cuales se le calculó las anomalías normalizadas de acuerdo a los criterios expresados en la primera parte. De esta manera se obtuvieron doce predictores a saber: Anomalías normalizadas del índice Niño3 de DEF, EFM, FMA, MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS, ASO, SON, OND y NDE.

De similar manera se generaron los predictandos para catorce estaciones ubicadas en las provincias de Buenos Aires, sur de Córdoba, sur de Santa Fe, sur de Entre Ríos y este de La Pampa. Las mismas pueden visualizarse en la Figura 3. Los resultados de dichas regresiones para los predictores de Febrero-Abril (FMA) y Abril-unio (AMJ) para la estación Mar del Plata Aero, se muestran en la Tabla 1.

Es de destacar que las regresiones significativas son todas inversas. Luego de obtener las rectas de regresión para cada modelo, con aquellos que resultaron estadísticamente significativos, se realizó una validación cruzada. En la Figura 4 se muestra el resultado de dicha validación para la estación Mar del Plata Aero utilizando como variable predictora las AN Niño3 de AMJ y como variable predictando las AN temperatura media de MJJ.

## CONCLUSIONES

En la primera parte del trabajo, en la cual se consideró a toda la República Argentina, se puede concluir que el Esquema 1 posee una mayor habilidad que el Esquema 2. Es de destacar que el Esquema 1 no puede considerarse como herramienta de pronóstico ya que tanto el predictor como los predictandos se miden en forma simultánea en el tiempo. No obstante, es posible obtener pronósticos operativos del índice Niño3 con hasta 18 meses de anticipación. El

hecho de utilizar valores pronosticados en el modelo en vez de valores observados, atentará contra la bondad de modelo con respecto al esquema original considerado.

En el Esquema 2, si bien puede considerarse como modelo de pronóstico, la señal reflejada en el campo de los predictandos es de menor intensidad que para la regresión considerada anteriormente. En ambos casos la significancia estadística queda restringida a ciertas regiones geográficas que pueden visualizarse en la Figura 2.

Con respecto a la segunda parte del trabajo desarrollado, en la cual se tomó una subregión centrada en la llanura pampeana, se puede concluir que el modelo FMA-predictor posee dos máximos de significancia estadística. El primero de ellos durante el invierno austral del año en curso, y un segundo máximo, de mayor significancia que el primero, en el otoño e invierno del año siguiente. Este máximo se repite en el esquema AMJ-predictor.

En cuanto a las estrategias futuras para seguir desarrollando aplicaciones prácticas del pronóstico climático estacional e interanual se enumeran algunas posibles líneas de investigación:

- realizar una validación del modelo propuesto con el agregado de series de datos más largas;
- repetir la experiencia considerando los años caracterizados como Niño (fase cálida del ENOS) y los años Niña (fase fría);
- incluir en los posibles predictores otras regiones del Océano Pacífico y del Océano Atlántico, como así también el estado de la variable en instantes de tiempo anteriores;
- utilizar el Análisis de Correlación Canónica (CCA) combinado con Funciones Ortogonales Empíricas (EOF);
- repetir el estudio para otras variables de interés: temperaturas máximas y mínimas, frecuencia de días con temperatura mayor/menor que cierto umbral, frecuencia de días con precipitación, etc;
- seguir interactuando con investigadores del país y del extranjero, en especial del Uruguay y el sur de Brasil, para diseñar futuras estrategias a desarrollar en el conocimiento del tema.

Tabla 1.- Coeficientes de correlación obtenidos para la Estación Mar del Plata Aero para diferentes esquemas de regresión lineal simple

Predictandos	Predictor: FMA	Predictor: AMJ
MAM	0.08	--
AMJ	0.06	--
MJJ	0.25	0.03
JJA	0.20	0.01
JAS	0.37	0.16
ASO	0.02	0.09
SON	0.10	0.06
OND	0.01	0.03
NDE	0.15	0.09
DEF	0.05	0.03
EFM	0.11	0.14
FMA	0.16	0.21
MAM	0.02	0.12
AMJ	0.40	0.24
MJJ	0.55	0.50
JJA	0.37	0.45
JAS	0.15	0.22

Nota: los coeficientes sombreados tienen significancia estadística al 95 %

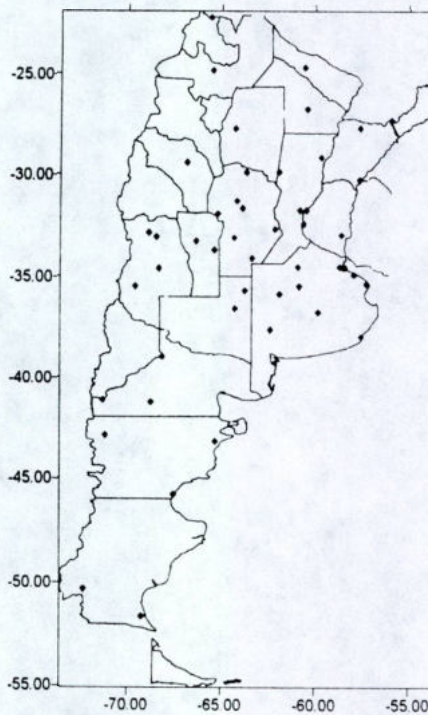


Figura 1.- Localización de las 50 estaciones meteorológicas seleccionadas para el presente estudio.

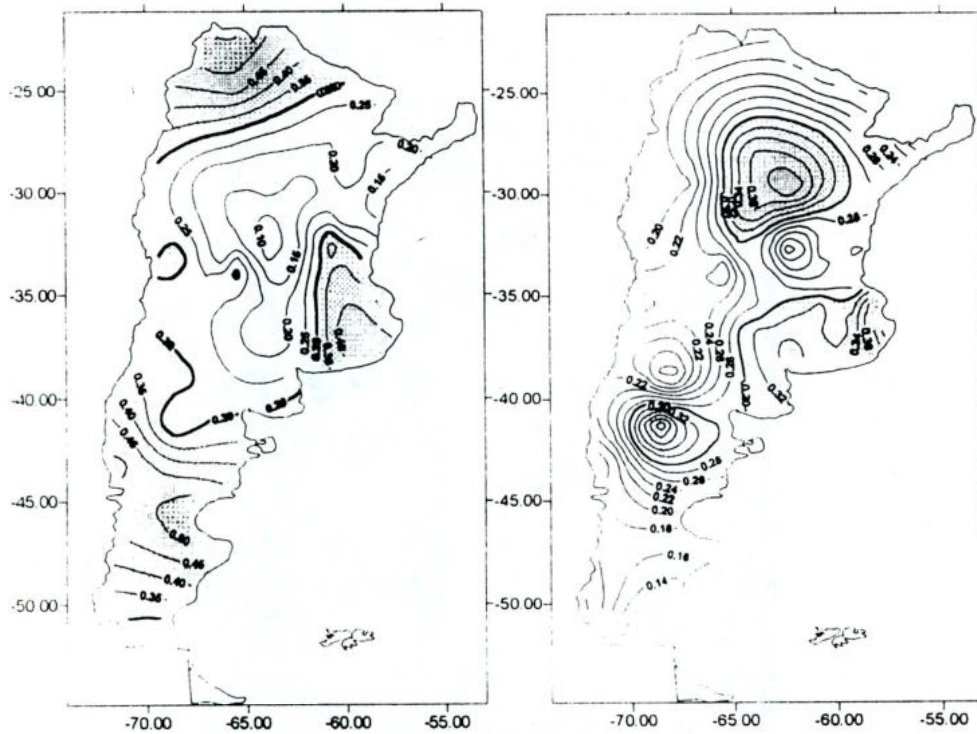


Figura 2.- Correlación entre las anomalías del trimestre Enero-Marzo del Niño3 y las anomalías de la temperatura media del trimestre Enero-Marzo (izquierda) y Julio-Setiembre (derecha). Las zonas sombreadas corresponden a correlaciones estadísticamente significativas al 95%.

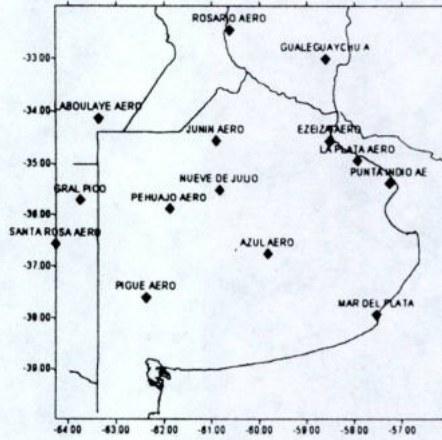


Figura 3.- Localización de las 14 estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio regional

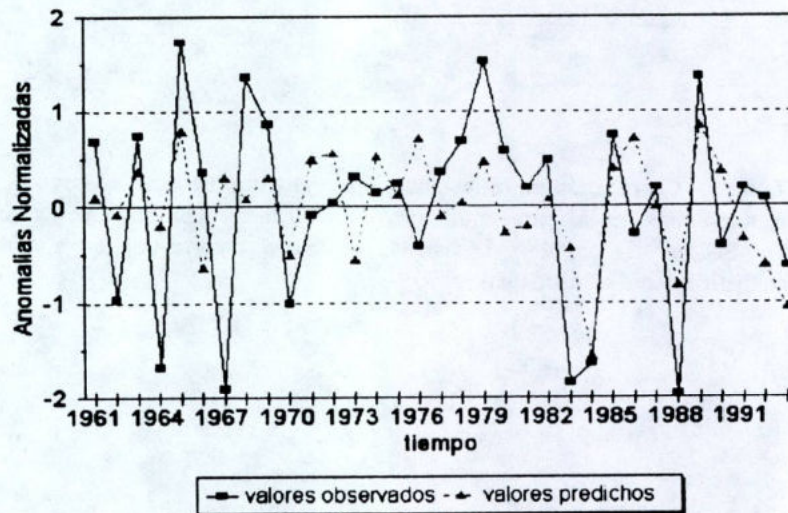


Figura 4.- Resultado de la validación cruzada al pronosticar las anomalías de la temperatura del trimestre Mayo-Julio en la estación Mar del Plata Aero, en función de las anomalías del Niño3 en el trimestre Abril-Junio.

## RELACION ENTRE LA VARIABILIDAD CLIMATICA Y LOS CAUDALES REGISTRADOS EN LA CUENCA DEL RIO PARAGUAY

Graciela V. ZUCARELLI

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral  
Santa Fe, Argentina

El objetivo de este trabajo es definir relaciones entre las anomalías de temperaturas del Océano Pacífico (regiones Niño1+2, Niño3, Niño4), las anomalías de temperatura del Océano Atlántico, el Índice de Oscilación del Sur (IOS), y los caudales registrados en la cuenca del río Paraguay y en la cuenca de su afluente el río Bermejo. Asimismo, determinar cuál de todos los predictores utilizados tiene mayor influencia en los caudales registrados. Se prevé, para una etapa posterior, establecer relaciones entre las características físicas de las cuencas analizadas y el efecto de la variabilidad climática.

Se seleccionó el río Paraguay en Puerto Bermejo y dos estaciones correspondientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo, Aguas Blancas y Zanja del Tigre. Dentro del sistema del río Paraguay, el río Bermejo constituye un afluente importante, presentando características diferentes del resto de la cuenca.

La cuenca del río Paraguay, abarca 1.095.000 Km<sup>2</sup> de los cuales aproximadamente 365.000 Km<sup>2</sup> corresponden al Brasil, 365.000 Km<sup>2</sup> al Paraguay, 182.500 Km<sup>2</sup> a la Argentina y 182.500 Km<sup>2</sup> a Bolivia. Recorre 2.500 Km desde su nacimiento en las sierras Do Parecis y Tombador hasta la confluencia con el Paraná que se produce al norte de la ciudad de Corrientes. Excluyendo las cabeceras de los ríos Pilcomayo y Bermejo que descienden del altiplano boliviano con valles profundos y laderas abruptas y la parte meridional de la margen izquierda, entre el río Apá y la confluencia con el Paraná que presenta relieve ondulado con pendientes fluviales de cierta magnitud, el resto de la cuenca se extiende por una extensa llanura aluvional, de escasa pendiente y con grandes planicies de inundación.

En la parte superior de la cuenca, las márgenes del río son bajas e inundables y presentan una zona de expansión denominado El Pantanal, que cubre cerca de 60.000 Km<sup>2</sup> y que periódicamente queda cubierto por las aguas. Tanto la pendiente del terreno como la del lecho fluvial son en este sector muy reducidas. El río presenta numerosos meandros, con un lecho arenoso y poco estable, existiendo algunos trechos rocosos no muy numerosos.

En la zona siguiente, desde la desembocadura del río Apá hasta unos 40 Km aguas abajo de Asunción la zona inundable se restringe en un ancho variable de 5 a 10 Km, que ocupa solamente la margen derecha, siendo la margen izquierda más alta y firme, con un aumento de la pendiente media del tramo y en consecuencia, un aumento de la velocidad y capacidad de descarga.

El límite inferior de esta zona es bien marcado por el cambio brusco en la profundidad del cauce. Desde este límite hasta el río Paraná, unos 300 Km, se extiende la zona de desembocadura que en épocas de crecientes desborda sobre las dos márgenes en toda la extensión de la zona ocupando una faja que varía entre 10 y 15 Km. En la confluencia con el río Paraná, el Paraguay sufre el efecto del remanso de los niveles de agua del Paraná.

La estación Puerto Bermejo se halla en la Provincia de Chaco (27° 20' S y 58° 30' O). Para este trabajo se utilizó la serie de caudales medios mensuales del período 1949-1994, con un caudal máximo registrado de 9957 m<sup>3</sup>/seg para Junio de 1983. Al hacer un análisis de la distribución de los caudales medios mensuales de la serie se observa que los mayores caudales se encuentran en el trimestre Mayo, Junio y Julio.

La Alta Cuenca del Río Bermejo se halla situada en el extremo NO de Argentina y extremo SSE de Bolivia. El río Bermejo (1.450 Km) es uno de los ríos interiores de mayor potencialidad de nuestro país, con una cuenca de 133.000 Km<sup>2</sup>.

La intensidad de las precipitaciones (900 mm anuales) en la alta cuenca influyen sobre el grado de erosión, en especial donde los suelos desprovistos de vegetación queda expuesto a la erosión. En Zanja del Tigre el río Bermejo transporta

un elevado manto de material en suspensión que afecta la estabilidad de los lechos fluviales, embanca los canales y colmata los embalses artificiales, obligando a costosas obras de dragado en el resto del sistema platense.

La geomorfología de la cuenca es bastante variada. Presenta cumbres de hasta 6.200 m, valles profundos, valles amplios y extendidas planicies en las confluencias de los ríos principales. La situación geográfica y las notables variaciones de altitud hacen que exista una amplia diversidad de climas y microclimas. Esto determina que la cobertura vegetal sea muy variada : desde estepas de gramíneas duras en las partes más altas hasta florestas tropicales en las partes más bajas.

Para la estación Aguas Blancas (22° 43' S, y 64° 22' O), se trabajó con la serie de caudales medios mensuales de 1949 hasta 1994. El máximo caudal de la serie fue de 716 m<sup>3</sup>/seg para el mes de Marzo de 1955. Para la estación Zanja del Tigre la serie analizada correspondió a igual período, donde se registró un caudal máximo de 3488 m<sup>3</sup>/seg para el mes de Marzo de 1984. Los valores de caudales medios mensuales para la serie analizada en las tres estaciones son los que se presentan en la Tabla 1.

Con los datos proporcionados por el IRICP (International Research Institute for Climate Prediction), se determinaron las anomalías de temperatura del Océano Pacífico a través de las regiones del Niño1+2 (0-10S, 80O-90O), Niño3 (5N-5S, 90O-150O), Niño4 (5N-5S, 150O-165E), las anomalías del Océano Atlántico (corresponde desde la línea ecuatorial hasta 35° de latitud S) y el Índice de Oscilación del Sur (diferencia de presión entre Tahití y Darwin). Las series de temperaturas corresponden al período 1949-1994. Se trabajó en todos los casos con anomalías estandarizadas.

Se agruparon las anomalías por trimestres, considerando todas las combinaciones de tres meses. Así se obtuvieron las anomalías para EFM, FMA, MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS, ASO, SON, OND, NDE, DEF. Para cada una de las series de caudales analizadas, se consideró una distribución trimestral, combinando los meses de la siguiente manera: EFM, AMJ, JAS, OND. En la Tabla 2 se presentan las anomalías de temperaturas correspondientes a las regiones Niño1+2, Niño3, Niño4 y al IOS para las máximas crecidas registradas en las estaciones de observación.

Una vez halladas las anomalías de temperatura y de caudales, se procedió a hacer regresión simple, usando como predictor la temperatura y como predictando los caudales. Los resultados, para el río Paraguay en Puerto Bermejo se muestran en la Tabla 3. Por ejemplo, para los caudales registrados en OND en Puerto Bermejo y la temperatura del Niño1+2 del trimestre mam, el coeficiente de correlación es de 0.39. Los coeficientes de correlación marcados con \* se han obtenido utilizando como predictor los datos de temperatura del año anterior, es decir, el coeficiente de correlación entre los caudales de EFM y las temperaturas del Niño1+2 del trimestre AMJ del año anterior es 0.26.

Se procedió de esta manera para todas las anomalías de temperatura (Niño1+2, Niño3, Niño4 y Océano Atlántico), para el IOS y para las anomalías de caudales en las tres estaciones. Los resultados se resumen en la Tabla 4. No se han incluido en estas tablas los coeficientes de correlación menores a 0.20. Al hacer una regresión entre las anomalías de caudales en Puerto Bermejo para OND con las anomalías de temperaturas del Océano Pacífico en la región Niño1+2 del trimestre FMA, se obtiene un coeficiente de regresión de 0.44.

Considerando que la distribución de caudales máximos para el río Bermejo corresponde al trimestre EFM, el coeficiente de correlación es 0.38 y se obtiene con las anomalías de temperaturas de la región Niño1+2 para los trimestres JJA y JAS del año anterior, es decir con 6 meses de anticipación. En la Figura 1 se observa que la máxima anomalía de temperatura corresponde al año 1983 (con un valor de 3.39), mientras que la máxima anomalía de caudales se presenta en la crecida de 1955.

La Figura 2 corresponde a las anomalías de caudales en el río Paraguay para el trimestre EFM con las anomalías de temperaturas del Niño1+2 del trimestre NDE. Se observa que existe coincidencia entre la anomalía máxima de temperatura (2.58 para el año 1982) con la máxima anomalía de caudal , que es en 1983 y alcanza 2.49.

## CONCLUSIONES

Luego de un exhaustivo análisis y pese a que la mayoría de los coeficientes de correlación son bajos, se puede concluir que existe una relación entre los caudales y los predictores analizados.

Se verifica, para los caudales máximos registrados en cada una de las series, que el IOS y el Niño3 están opuestos en fase, es decir, para anomalías positivas del IOS, se presentan anomalías negativas del Niño3 y viceversa.

Los coeficientes de correlación obtenidos al usar como predictor las anomalías de temperatura del Niño1+2 son superiores, a excepción de un caso, a los obtenidos a partir de las anomalías del Niño3.

El mayor coeficiente de correlación (0.55) se obtiene para el trimestre OND con la temperatura del Océano Atlántico en el trimestre JAS del año anterior. Esto indica que se deberían estudiar con mayor detalle las anomalías correspondientes a dicho océano, por ejemplo, considerando sectores más precisos.

En general, los coeficientes de correlación obtenidos para el río Paraguay son mayores que los obtenidos para el río Bermejo y muchos de ellos se logran con variabilidades globales ocurridas entre 9 y 12 meses antes. Esto se debe a que la variación anual de los caudales medios mensuales, en el río Paraguay no es la esperada en base a la distribución estacional de las precipitaciones. El flujo de entrada al Pantanal sigue la distribución estacional esperada, pero es tan grande el almacenamiento que se produce en esta zona, que la salida se retarda hasta seis meses.

La cuenca, como unidad morfológica, debe ser analizada tanto de sus características topográficas, geológicas, de vegetación, etc. Es conveniente recordar que el sistema es demasiado complejo como para ser simplificado con los parámetros que se obtienen.

Estos estudios necesitan un análisis más profundo para poder inferir conclusiones más relevantes. Se sugiere continuar con regresiones múltiples, entre las temperaturas del Océano Atlántico y los predictores del Océano Pacífico. Se recomienda hacer un estudio integral con otras cuencas del sistema del Río Paraguay.

Tabla 1.- Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) del Río Bermejo en Aguas Blancas y Zanja del Tigre, y del Río Paraguay en Puerto Bermejo.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Aguas Blancas	196	265	231	116	46	27	21	17	14	18	42	109
Zanja del Tigre	773	1114	967	510	196	114	79	62	50	62	150	386
Puerto Bermejo	3737	3876	4129	4376	4650	4914	4770	4220	3815	3750	3643	3615

Tabla 2.- a.- Río Bermejo en Aguas Blancas - Crecida de Marzo de 1955 - Q<sub>máx</sub> = 716 m<sup>3</sup>/seg. b.- Río Bermejo en Zanja del Tigre - Crecida de Marzo de 1984 - Q<sub>máx</sub> = 3488 m<sup>3</sup>/seg. c.- Río Paraguay en Puerto Bermejo - Crecida de Junio de 1983 - Q<sub>máx</sub> = 9957 m<sup>3</sup>/seg

a.-	EFM	FMA	b.-	EFM	FMA	c.-	AMJ	MJJ
Niño1+2	- 1.16	1.27	Niño1+2	- 0.15	0.04	Niño1+2	- 0.28	- 0.41
Niño3	- 0.80	- 1.05	Niño3	- 0.10	0.16	Niño3	2.78	2.31
Niño4	- 0.67	- 1.31	Niño4	- 0.77	- 1.08	Niño4	0.93	0.82
IOS	0.54	0.68	IOS	0.13	0.18	IOS	- 0.15	- 0.38

Tabla 3.- Coeficientes de correlación entre el Río Paraguay en Puerto Bermejo y el índice Niño1+2

	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS	OND
EFM	0.29	0.41	0.28	0.39				
FMA		0.39	0.28	0.44				
MAM		0.36	0.24	0.39	0.28 *			
AMJ		0.36		0.34	0.26 *			
MJJ				0.30	0.23 *			
JJA				0.27	0.21 *			
JAS				0.29	0.22 *			
ASO				0.31	0.24 *	0.21 *		
SON				0.37	0.34 *	0.32 *	0.26 *	0.25 *
OND				0.39	0.38 *	0.35 *	0.29 *	0.27 *
NDE					0.39 *	0.38 *	0.28 *	0.32 *
DEF					0.33 *	0.39 *	0.26 *	

Tabla 4.- Coeficientes de correlación entre los distintos predictores utilizados y las estaciones seleccionadas

Río Bermejo en Aguas Blancas				
	EFM	AMJ	JAS	OND
Niño1+2	0.38 (jja*-jas*)	0.29 (efm-ond*)	0.39 (ond*)	
Niño3	0.35 (amj*)	0.26 (mam)	0.34 (amj*)	
Niño4	0.25 (efm)	0.29 (mam)	0.30 (mam*)	0.22 (ond)
IOS	- 0.35 (def*)	- 0.30 (fma)	- 0.32 (mam*)	
Océa. Atlántico	0.33 (ond*)	0.39 (amj)	0.29 (jas*)	
Río Bermejo en Zanja del Tigre				
Niño1+2	0.27 (efm)	0.32 (fma)	0.23 (amj)	0.25 (amj)
Niño3	0.22 (efm)	0.27 (efm-fma)		0.22 (mam*)
Niño4		0.28 (fma)		
IOS	- 0.22 (def*)	- 0.30 (def*)	- 0.27 (def*)	
Océa. Atlántico	0.22 (jas*)	0.30 (jas*)	0.46 (jas)	0.55 (jas*)
Río Paraguay en Puerto Bermejo				
Niño1+2	0.39 (nde*)	0.41 (efm)	0.29 (ond*)	0.44 (fma)
Niño3	0.28 son*-ond*	0.39 (fma)	0.31 (mam)	0.41 (mam)
Niño4	0.22 (mjj*)			0.27 (mam)
IOS	- 0.22 (def*)	- 0.30 (def*)	- 0.27 (def*)	
Océa. Atlántico	0.24 (jas*)	0.31 (jas*)	0.42 (jas*)	0.38 (jas)

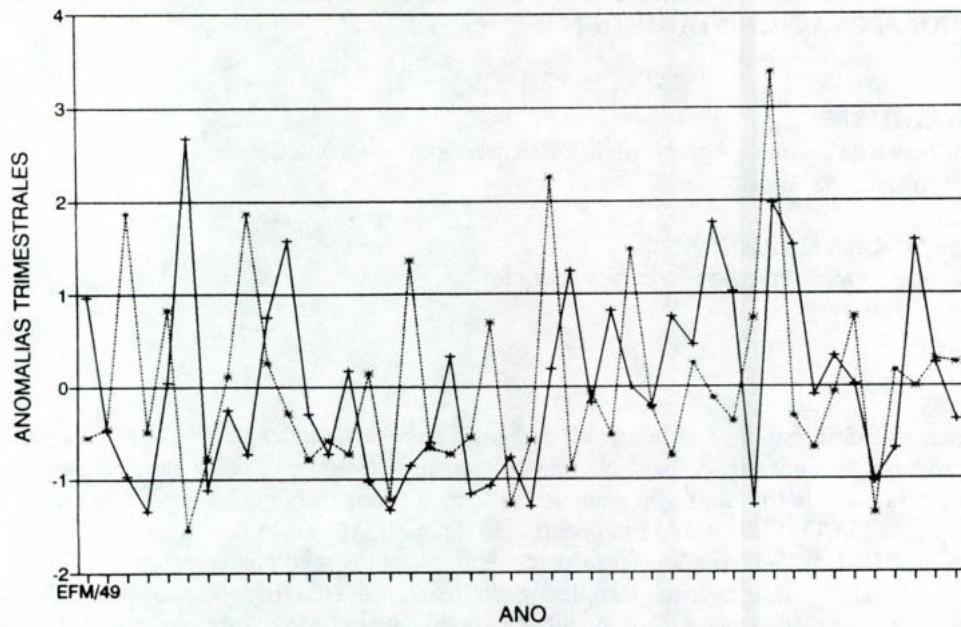


Figura 1.- Caudales del río Bermejo en Aguas Blancas correspondientes al trimestre Enero-Marzo, pronosticados a partir de las temperaturas del Niño1+2 del trimestre Junio-Agosto del año anterior. La serie corresponde al período 1949-1994.

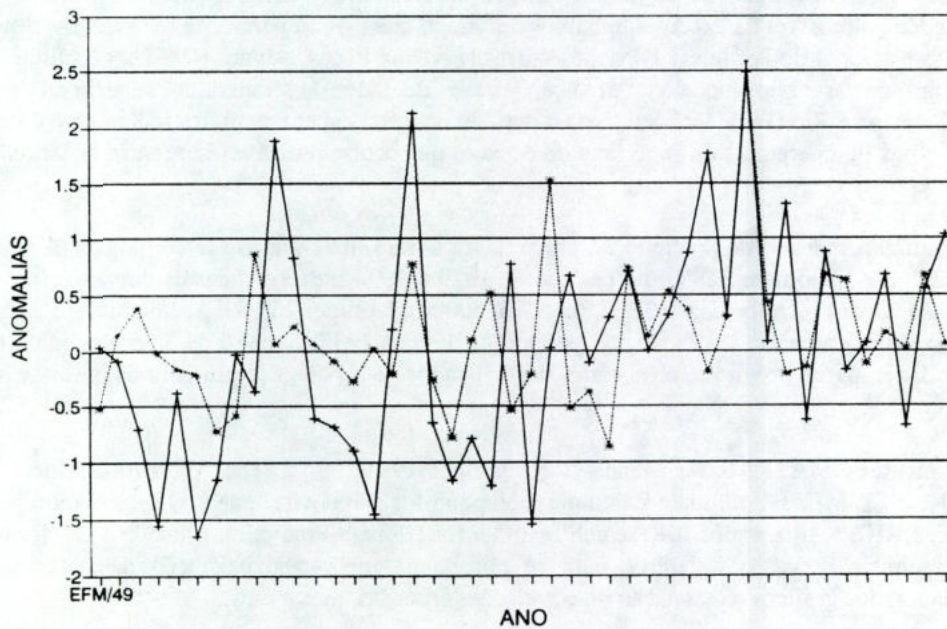


Figura 2.- Caudales del río Paraguay en Puerto Bermejo correspondientes al trimestre Enero-Marzo, pronosticados a partir de las temperaturas del Niño1+2 del trimestre Noviembre-Enero. La serie corresponde al período 1949-1994.

## **RELAÇÕES ENTRE ANOMALIAS DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DO PACÍFICO E ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO (CHAPECÓ-SC-BRASIL) PARA PREVISÃO DE UTILIZAÇÃO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS DO SOLO**

Darci Antônio ALTHOFF

Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  
Urussanga, Santa Catarina, Brasil

Fernando César MOURA DE ANDRADE

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos  
Fortaleza, Ceará, Brasil

O Estado de Santa Catarina situa-se na região sul do Brasil, entre as latitudes 25° a 30° S e longitudes de 45° a 60° O e é o quinto produtor de alimentos do país. Na região oeste deste estado está concentrada a maior área agrícola para produção de culturas anuais (milho, feijão e soja). Em termos gerais, sobre cobertura vegetal do solo para a região, pode-se dizer que de 15/01 a 15/04 o solo fica coberto, de 15/04 a 15/07 o solo fica descoberto, de 15/07 a 30/09 o solo fica coberto e de 01/10 a 15/12 o solo fica descoberto. Os solos predominantes da área em estudo podem ser destacados como: Brunizem Avermelhado raso, Latossolo Roxo Distrofíco (relevo ondulado e substrato sedimentos de basalto) e Litólicos Eutrófícos (relevo forte ondulado e montanhoso, como substrato basalto). Como característica comum apresentam elevados teores de argila, ferro e manganês e baixa percentagem de areia. A estrutura frágil do solo, aliada a declividade (geralmente superior a 12%) e ao manejo inadequado do solo, exigem práticas conservacionistas que permitam uma boa conservação destes solos, evitando o seu desgaste para o cultivo, e que diminua o açoreamento dos rios devido a ação de chuvas de alta intensidade ou longa permanência, que auxiliam na desagregação dos solos. A prática conservacionista deveria ser usual por parte dos agricultores.

O objetivo deste é que através dos dados de temperatura superficial do Pacífico, poder-se prever altas precipitações com uma antecedência passível de executar trabalhos de campo que evitem perdas de sedimentos. Studzinski, Caarem (INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Brasil) e Diaz Rosas, Alvaro (IMFIA - Instituto de Mecânica de Fluidos - Uruguai) ajustaram um modelo de previsão, através de dados de temperatura superficial do Pacífico, para o Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, para o período de julho-agosto, com um índice global de acerto de 60%. Niño3 são anomalias (temperaturas da superfície do oceano) que ocorrem no Pacífico (entre as latitudes: 5°N e 5°S e longitudes: 150°O e 90°O).

Foram utilizados dados mensais de precipitação pluviométrica (mm) da Estação Meteorológica de Chapecó (EPAGRI S/A), latitude: 26° S e longitude: 52° O, no período de 1979 a 1994 e dados mensais de vazão (m<sup>3</sup>/s) do Posto Rio Chapecó em Passo Nova Erechim (CEEE/IPH), (cod. 73850000), latitude: 26° 54' S, longitude: 52° 51' O, cuja bacia hidrográfica possui uma área de 7535 km<sup>2</sup>, no período de 1960 a 1985. Sabe-se de antemão que a série de dados é pequena para se fazer algum prognóstico. Os dados normalizados para Niño3 foram para os mesmos período de vazão e precipitação.

Utilizando os softwares MATLAB for Windows (Copyright 1984-1994 - The Mathworks, Inc.), version 4.2c.1, October, 3, 1994, e CLIMLAB - Climate Laboratory, Version for Windows, June 1995, elaborado por Raul Tanco e Guillermo Berri, (IRICP - International Research Institute for Climate Prediction Pilot Project), foram normalizados os dados de precipitação, vazão e Niño3, para se obter uma melhor visualização das anomalias, em caráter adimensional, elaborados gráficos e realização de correlações cruzadas, mês a mês.

Através destas correlações cruzadas pode-se detectar os melhores coeficientes de correlação utilizando-se os dados de Niño3 como preditor (X) e precipitação pluviométrica e vazão como valores gerados (Y), cruzando-se o mês 1 (janeiro) de X contra todos os meses de Y, o mês 2 (fevereiro) de X contra todos os meses de Y, e assim por diante.

Como se conseguiu valores altos e significativos de coeficiente de correlação cruzada (0,80), entre Niño3 e precipitação, e de (0,68), entre vazão e precipitação, elaborou-se Tabelas e Figuras, para melhor visualização destas variáveis no tempo. Com dados normalizados de vazão e Niño3, foram elaboradas as Figura 1 e 2 (anomalias de vazão), para se obter uma visão das anomalias no tempo.

Nas Tabelas 1 e 2 estão os valores encontrados pela correlação cruzada, entre Niño3 com precipitação pluviométrica e vazão, respectivamente. A precipitação (Tabela 1) poderá ser prevista pelas temperaturas do Niño3 a partir de Janeiro (0.80), Fevereiro (0.80), Março (0.69), Abril (0.69), Maio (0.68) e Junho (0.70) para o mes de Julho e pelas temperaturas de Março (0,73) e Abril (0.72) para Maio.

Os resultados da correlação cruzada Niño3 e vazão (Tabela 2), vem confirmar os prognósticos alcançados quando utilizada a precipitação, sendo que apenas os valores conseguidos para os coeficientes de correlação são inferiores. Utilizando-se os dados de temperatura superficial do Pacífico (Niño3) dos meses de janeiro (0.62), fevereiro (0.61), março (0.62), abril (0.68) e maio (0.61) pode-se prognosticar os valores de vazão para o mes de julho, e de setembro (0.62) e outubro (0.68) para o mes de novembro.

Na Tabela 3 encontram-se os valores de predição da precipitação pluviométrica através dos dados de temperatura superficial do Pacífico-Niño3. As temperaturas mais altas encontradas da superfície do Pacífico-Niño3 foram nos anos de 1983: jan (28.6), fev (28.6), mar (28.7), abr (28.8), mai (28.7) e jun (28.3), sendo as precipitações estimadas para julho, respectivamente 462.904, 435.658, 375.783, 337.814, 323.233 e 337.39 mm.

## CONCLUSIONES

Através dos resultados encontrados de coeficiente de correlação pode-se dizer que, para Chapecó: a) a precipitação pluviométrica pode-se fazer previsões, pelas temperaturas superficiais do Pacífico (Niño3) dos meses de Janeiro (0.80), Fevereiro (0.80), Março (0,69), Abril (0.69), Maio (0.68) e Junho (0.70) para o mês de Julho. Sendo que pode-se prever também as chuvas de maio pelas temperaturas (Niño3) de Março (0.73) e Abril (0.72). b) a vazão poderá ser prevista para Julho a partir das temperaturas do Niño3 de Janeiro (0,62), Fevereiro (0.61), Março (0.62), Abril (0.68) e Maio (0.61) e para Novembro a partir de dados de Setembro (0.62) e Outubro (0.68).

Recomenda-se utilizar os dados de precipitação para checar os prognósticos devido ser mais fácil sua medição e obtenção dos dados. Com a previsão em Janeiro e/ou Fevereiro pode-se recomendar que façam manejos conservacionistas, evitando perdas por erosão, já que o solo fica a descoberto no período de Abril a Julho, e nesta última data as culturas estão ou no final de ciclo ou sendo instaladas.

Tabela 1.- Correlação cruzada, NINO3 (X) e Precipitação pluviométrica (Y) - Chapecó - SC - Brasil. 1979 a 1994. Valores da precipitação em milímetros.

Mes X	Mes Y	Coef. Cor.	Std Error	Fo	Inter (a)	Slope (b)	Maior Coef.	Signif. (**)
1	5	0.66	112.64	9.82	-2000.39	87.07	2	**
	7	0.80	86.86	22.96	-2474.03	102.69	1	**
2	5	0.72	103.22	14.17	-3107.69	125.78	2	**
	7	0.80	86.18	23.53	-3434.78	135.33	1	**
3	5	0.73	102.57	14.52	-4133.52	160.35	1	
	7	0.69	105.04	11.59	-3837.09	146.79	2	
4	5	0.72	103.14	14.21	-3800.17	146.80	1	**
	7	0.69	105.07	11.58	-3549.61	134.98	2	**
5	5	0.51	128.32	4.58	-2007.82	82.50	2	**
	7	0.68	106.54	10.9	-2710.07	105.69	1	**
6	7	0.70	102.98	12.59	-2410.54	97.10	1	**
7	7	0.51	124.50	4.51	-2324.41	97.46	1	**
8	6	0.45	92.10	3.27	-1388.20	62.87	2	**
	7	0.55	121.03	5.53	-2506.34	107.42	1	**

\*\* Significante a 90 % de probabilidade e grau de liberdade 1 x 13.  $F_o > F_t = 3.14$

Tabela 2.- Correlação cruzada, NINO3 (X) e Vazão (Y) - Chapecó - SC - Brasil. 1960 a 1985. Valores da vazão normalizados.

Mes X	Mes Y	Coef. Cor.	Std Error	Fo Signif. (**)
1	7	0.62	0.80	14.81**
2	7	0.61	0.80	14.57**
3	5	0.51	0.88	8.44**
	7	0.62	0.80	15.33**
4	5	0.52	0.87	8.91**
	7	0.68	0.75	20.87**
5	7	0.61	0.81	14.24**
	11	0.51	0.88	8.65**
6	7	0.51	0.87	8.66**
8	11	0.55	0.85	10.64**
9	11	0.62	0.80	15.19**
10	11	0.68	0.75	20.11**
11	11	0.66	0.77	18.69**
12	11	0.70	0.73	22.72**

\*\* Significante a 90% de probabilidade e grau de liberdade 1 x 24.  $F_o > F_t = 2,93$ .

Tabela 3.- Predição da precipitação pluviométrica (mm) através das temperaturas de superfície do Pacífico - Niño3 para Chapecó/SC. Niño3 - 1, 2, 3, 4, 5 e 6: Temperatura Niño3 em Jan, Fev, Mar, Abr, Mai e Jun;

Pe-7: Precipitação em Julho

T	Pe-7 Ni-1	Pe-7 Ni-2	Pe-7 Ni-3	Pe-7 Ni-4	Pe-7 Ni-5	Pe-7 Ni-6	T	Pe-7 Ni-1	Pe-7 Ni-2	Pe-7 Ni-3	Pe-7 Ni-4	Pe-7 Ni-5	Pe-7 6
24.1	0.80						27.6	360.2	300.3	214.3	175.8	207.0	269.4
24.2	11.06						27.7	370.5	313.9	229.0	189.3	217.5	279.1
24.3	21.34						27.8	380.8	327.4	243.7	202.8	228.1	288.8
24.4	31.61						27.9	391.0	340.9	258.4	216.3	238.7	298.6
24.5	41.88						28.0	401.3	354.5	273.0	229.8	249.3	308.3
24.6	52.14						28.1	411.6	368.0	287.7	243.3	259.8	318.0
24.7	62.41						28.2	421.8	381.5	302.4	256.8	270.4	327.7
24.8	72.68						28.3	432.1	395.1	317.1	270.3	281.0	337.4
24.9	82.95					7.25	28.4	442.4	408.6	331.7	283.8	291.5	347.1
25.0	93.22					16.96	28.5	452.6	422.1	346.4	297.3	302.1	356.8
25.1	103.5					26.67	28.6	462.9	435.7	361.1	310.8	312.7	366.5
25.2	113.8					36.38	28.7	473.2	449.2	375.8	324.3	323.2	376.2
25.3	124.0					46.09	28.8	483.4	462.7	390.5	337.8	333.8	385.9
25.4	134.3	2.60				55.80	28.9	493.7	476.3	405.1	351.3	344.4	395.7
25.5	144.6	16.14				65.51	29.0	504.0	489.8	419.8	364.8	354.9	405.4
25.6	154.8	29.67				75.22	29.1	514.3	503.3	434.5	378.3	365.5	415.1
25.7	165.1	43.20			6.163	84.93	29.2	524.5	516.9	449.2	391.8	376.1	424.8
25.8	175.4	56.73			16.73	94.64	29.3	534.8	530.4	463.9	405.3	386.6	434.5
25.9	185.6	70.27			27.30	104.3	29.4	545.1	543.9	478.5	418.8	397.2	444.2
26.0	195.9	83.80			37.87	114.1	29.5	555.3	557.5	493.2	432.3	407.8	453.9
26.1	206.2	97.33			48.44	123.8	29.6	565.6	571.0	507.9	445.8	418.4	463.6
26.2	216.4	110.9	8.81		59.01	133.5	29.7	575.9	584.5	522.6	459.3	428.9	473.3
26.3	226.7	124.4	23.49	0.364	69.58	143.2	29.8	586.1	598.1	537.3	472.8	439.5	483.0
26.4	237.0	137.9	38.17	13.86	80.15	152.9	29.9	596.4	611.6	551.9	486.3	450.1	492.8
26.5	247.3	151.5	52.85	27.36	90.72	162.6	30.0	606.7	625.1	566.6	499.8	460.6	502.5
26.6	257.5	165.0	67.52	40.86	101.3	172.3	30.1	616.9	638.7	581.3	513.3	471.2	512.2
26.7	267.8	178.5	82.20	54.36	111.8	182.0	30.2	627.2	652.2	596.0	526.8	481.8	521.9
26.8	278.1	192.1	96.88	67.85	122.4	191.7	30.3	637.5	665.7	610.6	540.3	492.3	531.6
26.9	288.3	205.6	111.6	81.35	133.0	201.5	30.4	647.7	679.3	625.3	553.8	502.9	541.3
27.0	298.6	219.1	126.2	94.85	143.6	211.2	30.5	658.0	692.8	640.0	567.3	513.5	551.0
27.1	308.9	232.7	140.9	108.4	154.1	220.9	30.6	668.3	706.3	654.7	580.8	524.0	560.7
27.2	319.1	246.2	155.6	121.8	164.7	230.6	30.7	678.6	719.9	669.4	594.3	534.6	570.4
27.3	329.4	259.7	170.3	135.3	175.3	240.3	30.8	688.8	733.4	684.0	607.8	545.2	580.1
27.4	339.7	273.3	185.0	148.8	185.8	250.0	30.9	699.1	746.9	698.7	621.3	555.8	589.9
27.5	349.9	286.8	199.6	162.3	196.4	259.7	31.0	709.4	760.4	713.4	634.8	566.3	599.6

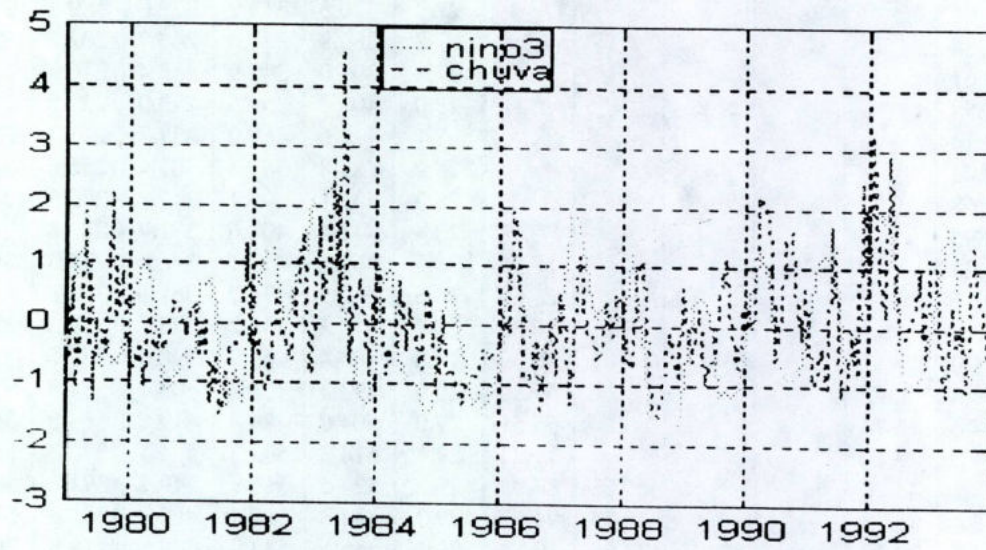


Figura 1.- Anomalias de vazão e Niño3, Chapecó, Santa Catarina, 1960 a 1985.

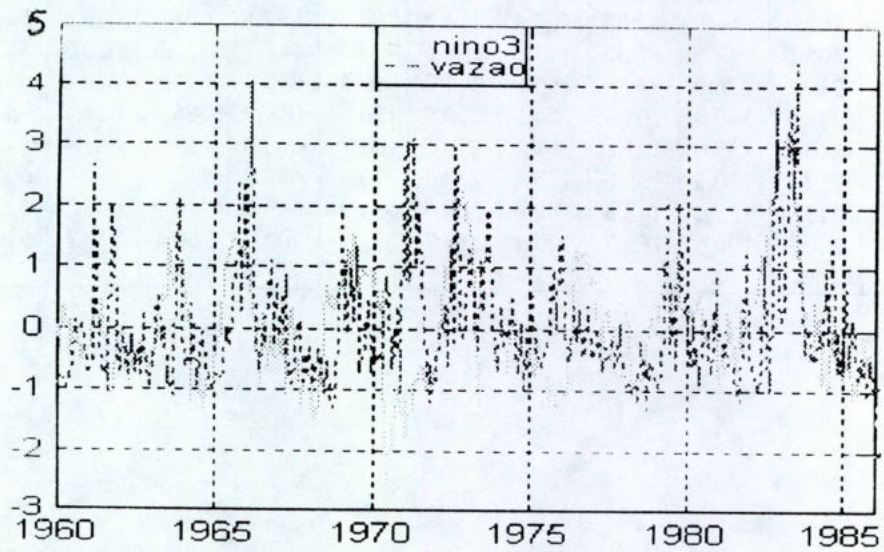


Figura 2.- Anomalias de vazão em Julho e Niño3 em Abril, Chapecó, Santa Catarina, 1960 a 1985.

## INFLUÊNCIA DO FENOMENO EL NIÑO EM VAZÕES DE RIOS DO ESTADO DO CEARÁ

Fernando C. MOURA DE ANDRADE  
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos  
Fortaleza, Ceará, Brasil

O Estado do Ceará tem uma área aproximada de  $150.000\text{km}^2$  e aproximadamente 90% de seu território está situada no região semi-árida do nordeste brasileiro. A média de precipitação no estado é de cerca de 850mm anuais, concentrados principalmente no período de março a maio e apresenta uma grande variabilidade interanual e espacial. Cerca de 75% de seu território possui geologia cristalina com solos rasos o que ocasiona grandes coeficientes de escoamento superficial, ficando armazenados no solo somente uma pequena parcela de umidade e não havendo muito fluxo subterrâneo, com aquíferos concentrados, em sua maioria, em zonas fraturadas de rochas cristalinas. Além disto, por estar situado em latitudes próximas ao equador a radiação solar incidente é muito grande, ocasionando altas taxas de evaporação durante todo o ano.

Todos estes fatores associados fazem com que a grande maioria de seus rios sejam intermitentes, isto é, eles se transformam em rios secos por períodos, muitas vezes, longos. A existência de água na maioria destes rios nestes períodos está garantida pela alimentação por parte de grandes reservatórios que têm caráter interanuais, que geram projetos de irrigação ao longo de suas margens e a plantios em seus aluviões descobertos.

O objetivo principal deste trabalho é o de encontrar aplicações práticas de previsões climáticas de curto prazo na previsão de possíveis regimes fluviométricos destes rios, na tentativa de obter cenários futuros com os quais possam ser tomadas medidas para minorar os efeitos de tais regimes sobre a população que depende diretamente destes rios, quer seja na prevenção de catastrófes ocasionados por enchentes, quer seja no planejamento de operação dos reservatórios que perenizam estes rios.

Um grande número de pesquisadores, principalmente em meteorologia, têm estudado nos últimos anos as possíveis consequências de um fenômeno periódico que acontece no oceano pacífico conhecido com El Niño que consiste num esquentamento considerável nas águas do pacífico, ou La Niña no caso de esfriamento. Foi verificado que o referido fenômeno tem elevada correlação com eventos extremos de precipitação ou de secas em diversas partes do globo, principalmente nas regiões equatoriais e tropicais. É ponto pacífico entre a grande maioria destes pesquisadores que o oceano pacífico é o elemento mais influente nas condições climáticas das diversas partes do globo, e é por isto a região mais estudada e de onde a comunidade científica já dispõe de modelos matemáticos que podem prever a ocorrência dos fenômenos El Niño com elevado índice de acerto, o que pode ocasionar por parte dos tomadores de decisão atuações preventivas das consequências do mesmo sobre o clima de suas regiões.

Neste trabalho utilizamos dados fluviométricos de oito estações cujas localizações geográficas, rio utilizado e área de drenagem, bem como o período estudado se encontram na Tabela 1 e fizemos estudos isolados de cada um de seus registros com dados de anomalias de temperatura do oceano pacífico nos mesmos períodos. Devido ao caráter intermitente dos rios e de diversas mudanças estruturais na administração das companhias de gestão dos recursos hídricos no nordeste brasileiro, as séries de fluviometria são bastantes curtas ou apresentam grandes vazios de dados. Por este motivo conseguimos somente, depois de um trabalho de seleção que levava em conta também a existência de dados de El Niño somente a partir de 1949, oito estações com 7 anos de dados contínuos em diversos períodos. Como consequência imediata disto não podemos fazer análises estatísticas destas séries, já que a influência maior do fenômeno El Niño se dá em escala interanual, não interessando muito a sua variabilidade mensal, já que com 7 observações não se pode fazer nenhuma estatística de credibilidade.

Assim sendo apresentamos nas Figuras 1 e 2 as oitos séries de vazão plotadas conjuntamente com as anomalias de temperaturas de uma região do oceano pacífico conhecida como Niño3 que corresponde a um retângulo compreendido entre as latitudes de S  $5^{\circ}$  e N  $5^{\circ}$  e longitudes de O  $150^{\circ}$  a O  $90^{\circ}$ , e notamos em uma análise visual que existe uma certa relação entre eventos frios (La Niña) no período entre setembro e dezembro e vazões altas no período de março a maio do ano subsequente. Assim sendo fizemos uma contagem de eventos de anomalias médias de temperatura dos

meses de setembro+outubro+novembro e outubro+novembro+dezembro e de anomalias de vazão média dos meses de março+abril+maio. O resultado desta contagem está apresentado nas Tabelas 2, 3 e 4.

Com base em uma análise das tabelas e dos gráficos construímos a Tabela 5 em que sintetizamos as relações entre as anomalias de vazões de valores altos com as anomalias de temperatura dos anos anteriores, para tirarmos as conclusões sobre a aplicabilidade das previsões de anomalias no gerenciamento das bacias hidrográficas

Com base nos resultados obtidos apresentados nas tabelas e nos gráficos verificamos que para sete anos com vazões acima de um (01) desvio padrão, em cinco deles ocorreram fenômenos La Niña (anomalias negativas na temperatura da região Niño3) no ano anterior. Entretanto verificamos que no ano de 1963 não houve anomalia significativa na temperatura e houve uma grande vazão em 1964 e que no ano de 1972 houve uma anomalia positiva no final do ano (El Niño) e houveram grandes vazões em 1973. Verificamos também, por outro lado, que nos anos de 1970, 1971 e 1975 houveram grandes anomalias negativas de temperatura que não ocasionaram anomalias positivas de vazão nos anos de 1971, 1972 e 1976 respectivamente.

## CONCLUSIONES

Podemos concluir então que encontramos algum sinal relacionando as anomalias negativas de temperatura do oceano pacífico na região conhecida como Niño3 no final de um determinado ano com anomalias positivas de vazão no período de março a maio do ano subsequente. Não podemos entretanto tirar nenhuma conclusão definitiva já que a quantidade de dados é insuficiente para realizarmos um estudo estatístico bem estruturado com análise de correlações simples e com lags de tempo e comprovarmos a relação possivelmente existente entre as anomalias de temperatura no oceano pacífico e vazões nos rios do Estado do Ceará.

Pretendemos continuar o presente trabalho com uma pesquisa ampla junto a todos os órgãos ligados ao monitoramento e gestão dos recursos hídricos do nordeste brasileiro no sentido de coletarmos uma maior quantidade de dados para que possamos efetuar estudos mais detalhados e daí sim, podermos nos utilizar das ferramentas de previsão climática de curto prazo nas tomadas de decisão quanto ao gerenciamento das bacias hidrográficas dos rios do Estado do Ceará.

Tabela 1.- Estações fluviométricas utilizadas.

Rio	Local	Área (km <sup>2</sup> )	Latitude	Longitude	Periodo
ACARAÚ	AÇ. ARARAS	2940	S 4°14"	O 40°27"	1949 - 1955
ACARAÚ	CAJAZEIRAS	1550	S 4°21"	O 40°34"	1964 - 1970
BAÚ	BAÚ	270	S 4°07"	O 38°40"	1967 - 1973
SÃO GONCALO	SITIOS NOVOS	433	S 3°45"	O 38°57"	1968 - 1974
CURÚ	S.LUÍS DO CURÚ	7100	S 3°40"	O 39°15"	1969 - 1975
GROAÍRAS	GROAÍRAS	2700	S 3°55"	O 40°23"	1972 - 1978
ACARAÚ	SOBRAL	11160	S 3°42"	O 40°21"	1973 - 1979
PIRANJÍ	CRISTAIS	2000	S 4°30"	O 38°21"	1973 - 1979

Tabela 2.- Anos em que se verificaram anomalias médias fortes de temperatura no período de setembro, outubro e novembro

Faixa de Anomalias	Anos Verificados
Anomalia > 0.5	1972
-1.5 < Anomalia < -0.5	1950 - 1952 - 1954 - 1964 - 1966 - 1968 - 1971 - 1974 - 1977 - 1978
Anomalia < -1.5	1949 - 1955 - 1967 - 1970 - 1973 - 1975

Tabela 3.- Anos em que se verificaram anomalias médias fortes de temperatura no período de outubro,novembro e dezembro

Faixa de Anomalias	Anos Verificados
Anomalia > 0.5	1972
-1.5 < Anomalia < -0.5	1950 - 1952 - 1954 - 1966 - 1967 - 1971 - 1974 - 1978
Anomalia < -1.5	1949 - 1955 - 1964 - 1970 - 1973 - 1975

Tabela 4.- Anos em que se verificaram anomalias médias fortes de vazão no período de março, abril e maio.

OBS: Os anos repetidos se referem às diferentes estações fluviométricas

Faixa de Anomalias	Anos Verificados
1.0 < Anomalia < 2.0	1949 - 1965 - 1968 - 1973 - 1973
2.0 < Anomalia < 3.0	1967 - 1967 - 1973
Anomalia > 3.0	1950 - 1964 - 1974 - 1974 - 1974 - 1974 - 1974

Tabela 5.- Síntese dos resultados obtidos verificando relações entre altas anomalias de vazão e anomalias de temperatura. OBS: as filas múltiplas se referem às diferentes estações.

Ano	Anomalia Vazao	Anomalia Temperatura S+O+N (Ano Anterior)	Anomalia de Temperatura O+N+D (Ano Anterior)
1964	3.1067	-0.18667	-0.003
1965	1.4867	-1.49	-1.51
1967	2.4133 2.3967	-1.1267	-1.073
1968	1.37	-1.5167	-1.36
1950	4.29	-1.7533	-1.7
1973	1.2267 2.8867 1.26	0.7533	1.04
1974	4.62 4.2933 4.51 4.5467 4.8167	-1.91	-1.91

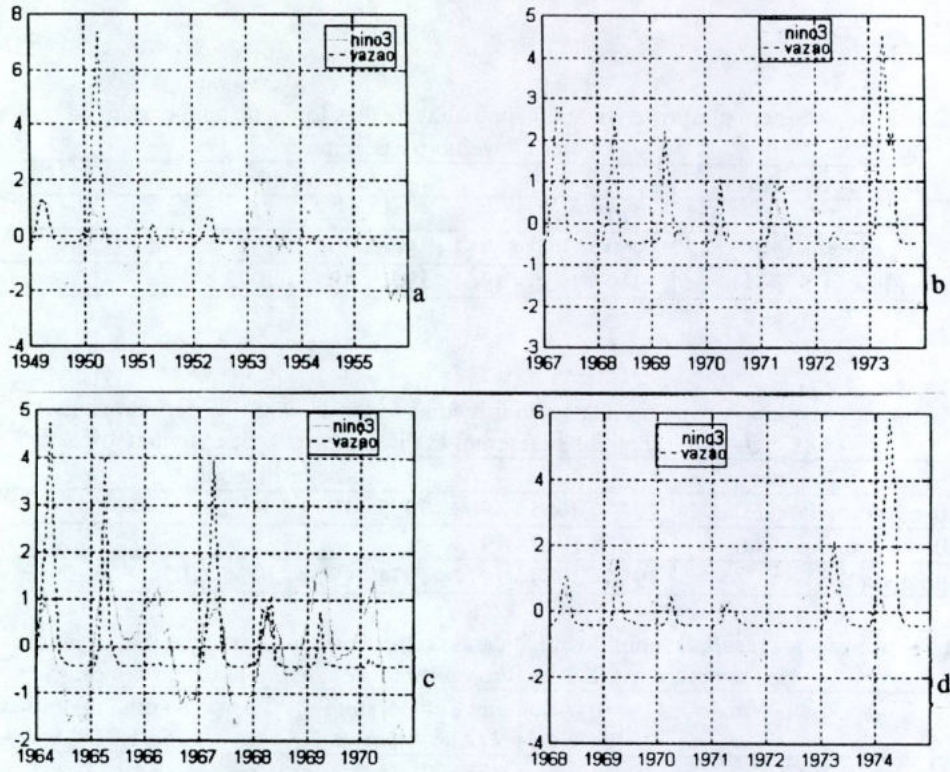


Figura 1.- Séries de vazão e anomalias de temperaturas de la região Niño3, a) Estação 35217001, b) Estação 35210000, c) Estação 35760000 y d) Estação 35650000.

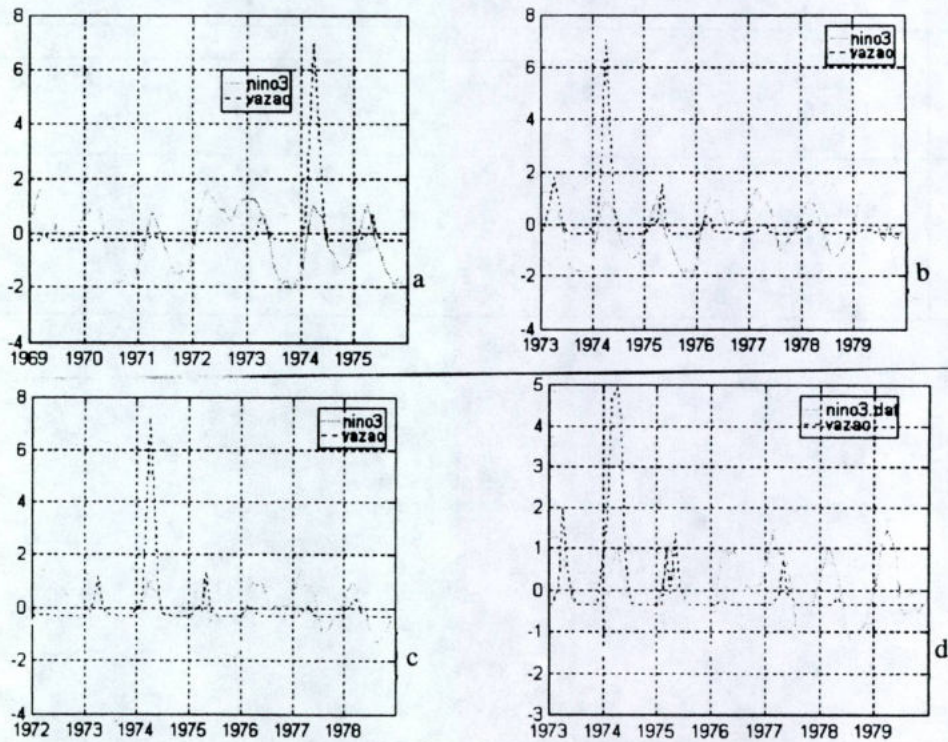


Figura 2.- Séries de vazão e anomalias de temperaturas de la região Niño3, a) Estação 35570000, b) Estação 35260000, c) Estação 35275000 y d) Estação 35950000.

## **ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA PREDICCIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA HÍDRICO DEL RIO URUGUAY EN FUNCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LAS ANOMALÍAS DE LAS TEMPERATURAS DEL PACÍFICO ECUATORIAL Y DEL ATLÁNTICO SUR**

Alfonso RISSO

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, Brasil

Los objetivos de este trabajo son definir relaciones entre la variabilidad de las anomalías de las temperaturas del Pacífico y Atlántico, con caudales del Sistema Hídrico del Río Uruguay. Asimismo, evaluar el efecto de diferentes tamaños de cuencas del Sistema Hídrico del Río Uruguay en la recepción de señales de la variación de la temperatura de la superficie de los Océanos Pacífico (El Niño) y del Atlántico.

El Estado de Rio Grande do Sul, localizado en el extremo sur de Brasil, posee un clima caracterizado por el movimiento de las masas polares provenientes del Sur durante el invierno provocando lluvias frontales. Durante el verano las masas polares se debilitan al interactuar con los movimientos provenientes del Atlántico, resultando en precipitaciones convectivas. La tendencia es la ocurrencia de lluvias de larga duración y baja intensidad durante el invierno y de mayor intensidad y pequeña duración durante el verano.

El clima del Estado de Rio Grande do Sul está clasificado, de forma general, como "templado húmedo", siendo que algunas regiones del Estado están clasificadas como "clima subtropical". Desde el punto de vista hidrológico, algunos aspectos son importantes: 1- el período lluvioso en Rio Grande do Sul ocurre cuando en una parte de la región Sur y Sudeste del País ocurre el período seco. Por lo tanto los sistemas hídricos son complementarios desde el punto de vista de la gestión de recursos; 2- el período seco es concomitante con las mayores temperaturas, lo que aumenta la pérdida de agua por la evaporación de los embalses en el Estado, al contrario de lo que ocurre en la región Sudeste de Brasil, donde prácticamente se despreja este efecto; 3- las lluvias frontales que actúan en el período lluvioso son las que presentan mayores riesgos de ocurrencia de crecidas en cuencas de gran tamaño.

Se puede identificar el comportamiento de las cuencas hidrográficas a través de la distribución en el tiempo y en el espacio de variables como la lluvia y caudal. En recursos hídricos existen varias relaciones utilizadas para cuantificar la disponibilidad hídrica, niveles de navegación, evaluar llenas y la capacidad de dilución de los ríos así como otros usos del agua.

El Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IPH) de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, desarrollo para la Compañía Estatal de Energía Eléctrica (CEEE), un estudio de regionalización de los caudales de los principales sistemas hídricos del Estado de Rio Grande do Sul, cubriendo un área de aproximadamente 330.000 Km<sup>2</sup>. Fueron levantados los caudales de 126 secciones dentro de las principales cuencas del Estado, en un período homogéneo de 40 años (1945 a 1984).

Este estudio permite que se obtengan algunas de las relaciones que definen las variables hidrológicas que son necesarias para diferentes proyectos en lugares donde las series de medidas no están completas, así como sitios donde debido a costos operacionales, de implantación y mantenimiento no existen mediciones de caudales. Por otro lado, aunque se pueda obtener un panorama regional de los caudales de los principales sistemas hídricos de esta región de Brasil, es muy importante poder predecir su comportamiento a corto y mediano plazo, con el objetivo de optimizar su manejo para el uso doméstico, la actividad agropecuaria, industria, energía y otros usos.

En ese sentido, esta aplicación práctica es un intento inicial de establecer una metodología que permita estimar, a nivel anual y estacional, el comportamiento de los caudales en Rio Grande do Sul. Para eso serán evaluados los efectos provocados por índices de sistemas de comportamiento global (anomalías de las temperaturas del Pacífico Ecuatorial y del Atlántico Sur) que con mayor o menor intensidad puedan ser estadísticamente asociados a la variabilidad de los caudales de las cuencas de la región sur de Brasil. Es importante resaltar que algunos de estos índices, como las

anomalías de temperaturas del Pacífico Ecuatorial, ya pueden ser pronosticadas y se encuentran disponibles para el uso.

Como área de prueba fueron elegidas dos secciones en cuencas del sistema hídrico del río Uruguay, una en el mismo río Uruguay (estación Uruguaiana, área de la cuenca: 189.000 Km<sup>2</sup>) y la otra en el río Ijuí (estación Ijuí-Ponte Mística, área de la cuenca: 9.030 Km<sup>2</sup>). Fueron tomadas estas dos cuencas como pilotos, debido a su importancia para el manejo sus de recursos hídricos, principalmente en la agricultura debido a que Rio Grande do Sul es uno de los principales productores de alimentos del País. Además de esto existe el interes en saber si el tamaño de una cuenca interfiere en la identificación de las señales de anomalías de temperaturas de los oceanos.

A través de las rutinas del programa Climlab/Matlab (Laboratorio Climático, versión para Windows de junio de 1995) proporcionado por el IRICP, fueron estimadas las anomalías mensuales de temperatura y caudal de las series de años disponibles para las áreas del Pacífico (Niño1+2, Niño3, Niño4) y del Atlántico Sur (lat. 25° - 30° S y long. 30° y 60° O) , así como para los caudales de los ríos Uruguay y Ijuí registrados en las estaciones Uruguaiana y Ijuí-Ponte Mística, respectivamente.

Fueron graficadas las anomalías de cada uno de los Niños y del Atlántico con los caudales de las dos estaciones en estudio, utilizando promedios móviles a intervalo de 3 meses, esto para verificar la concordancia o no de las oscilaciones de las series. Con los mismos archivos de anomalías mensuales se aplicaron autocorrelaciones a los datos de caudal con el fin de estimar la memoria de los sistemas.

Fueron efectuadas correlaciones cruzadas entre las anomalías de las temperaturas y los caudales para observar los coeficientes de correlación y los rezagos entre las series. Con el mismo fin se usó este método estadístico para determinar la relación entre las temperaturas del Pacífico (regiones Niño) y las del Atlántico.

Considerando que las épocas con mayor interés de pronóstico son aquellas en que ocurre una mayor frecuencia de caudales máximos y de mínimos, debido a los problemas asociados a los excesos y déficits del recurso agua, fueron tomando en cuenta el trimestre con mayores caudales Ago-Sep-Oct para el río Uruguay y el río Ijuí y como trimestre de menores caudales Feb-Mar-Abr. Se agruparon los datos de temperaturas y caudales trimestralmente con el fin de poder detectar mejores relaciones que nos permitiesen aproximarnos a la obtención de una ecuación lineal para la predicción. De esta forma se efectuaron regresiones simples y múltiples, siendo que las regresiones múltiples solamente fueron aplicadas a los trimestres de mayor frecuencia de máximos caudales.

Al analizar los promedios móviles de las anomalías de caudal en las cuencas del río Uruguay y río Ijuí con las temperaturas del Pacífico y el Atlántico, se vislumbra lo que parece ser una relación directa entre las series. Lo que indica que para cada evento de anomalía positiva de las temperaturas del Pacífico también se presenta una anomalía positiva en los caudales, en ambas estaciones, lo que se comprueba al verificar que los coeficientes de regresión resultantes de las correlaciones cruzadas, que en este caso fueron positivos.

Las autocorrelaciones de los caudales medios mensuales del río Uruguay y río Ijuí indican que los caudales con una antecedencia de hasta cinco meses contienen alguna información que puede ser utilizada en conjunto con los valores de anomalías de temperatura para modelajes de regresión múltiple para predicción de caudales.

Al realizar las correlaciones cruzadas de las series mensuales se encontró que los coeficientes de correlación para los datos mensuales eran muy bajos, no superiores a 0.30 en el río Uruguay (con Niño3) y no superiores a 0.27 en el río Ijuí (con Niño1+2). En cuanto a los rezagos observados, llegan a cinco meses para el río Uruguay y siete meses para el río Ijuí.

De las correlaciones cruzadas entre los Niños1-2, 3 y 4 con las Temperaturas del Atlántico Sur estimadas para la región comprendida entre las latitudes 25° - 30° S y longitudes 30° y 60° O, se encontraron correlaciones bajas caracterizando un grado de independencia estadística entre las anomalías de los dos océanos.

Considerando que a nivel mensual no se presentaban correlaciones cruzadas significativamente altas se procedió a agrupar trimestralmente los datos, tomando como referencia los meses con mayor frecuencia de caudales altos de los

dos ríos: agosto a octubre y los meses con caudales bajos: febrero a abril. Siguiendo estos criterios para cada cuenca se agruparon los datos de temperatura del Pacífico y el Atlántico en cuatro trimestres: NDE, ASO, MJJ y FMA

Con estos trimestre se efectuaron correlaciones simples en las que se obtuvo para la cuenca del río Uruguay en el trimestre altos caudales correlaciones de hasta 0,44 (Niño1+2) con el trimestre febrero-marzo-abril y en el trimestre de bajos caudales correlaciones de hasta de 0,45 (Niño1+2) con el trimestre noviembre-diciembre-enero. Para la cuenca del río Ijuí en el trimestre de altos caudales se obtuvo correlaciones de hasta 0,41 (Niño1+2) para el trimestre febrero-marzo-abril y en el trimestre de bajos caudales correlaciones de hasta 0,35 (Niño4) con el trimestre mayo-junio-julio y 0,36 (Atlántico) con los trimestres noviembre-diciembre-enero. Las Tablas 1 y 2 muestran en detalle los resultados obtenidos.

Para los trimestres con mayor frecuencia de altos caudales (agosto-septiembre-octubre) de los ríos Uruguay e Ijuí se efectuaron regresiones múltiples integrando las informaciones de las anomalías del Pacífico Equatorial, Atlántico Sur y caudales previos para aquellos grupos trimestrales con mayor significancia estadística obteniéndose las ecuaciones lineales que relacionan de mejor forma los parámetros.

Para la cuenca del río Uruguay (ago-oct) se obtuvo, para el trimestre de altos caudales, una correlación más significativa en el trimestre feb-mar-abr de los valores de anomalía del Niño1+2, en el caudal previo MJJ y en las anomalías del Atlántico MJJ, inmediatamente anteriores al valor de caudal pronosticado ASO. Las anomalías de temperatura del Niño1+2 y el caudal previo se destacaron como las más influyentes (Figura 1).

$$\text{Caso 1: } \quad Q(\text{ASO}) = 0.248 * Q(\text{MJJ}) + 0.201 * N1-2(\text{FMA}) + 0.1678 * AT(\text{MJJ}) + 0.011$$
$$R = 0.56 \quad Fo(3.31) = 4.70$$

Despreciando los valores relativos a los caudales previos se obtuvo una correlación múltiple con estas características (Figura 2):

$$\text{Caso 2: } \quad Q(\text{ASO}) = 0.2622 * N1-2(\text{FMA}) + 0.2072 * AT(\text{MJJ}) + 0.0148$$
$$R = 0.48 \quad Fo(2.32) = 4.90$$

Para la cuenca del río Ijuí (Ago-Oct) se obtuvo, para el trimestre de bajos caudales, una correlación más significativa en el trimestre may-jun-jul de los valores de anomalía del Niño3, en el caudal previo MJJ y en las anomalías del Atlántico FMA, inmediatamente anteriores al valor de caudal pronosticado ASO. Las anomalías de temperatura del Niño3 y el caudal previo se destacaron como las más influyentes (Figura 4).

$$\text{Caso 1: } \quad Q(\text{ASO}) = 0.7110 * Q(\text{MJJ}) + 0.3883 * N3(\text{MJJ}) - 0.252 * AT(\text{FMA}) - 0.0533$$
$$R = 0.71 \quad Fo(3.21) = 7.33$$

Despreciando los valores relativos a los caudales previos se obtuvo una correlación múltiple con estas características (Figura 3):

$$\text{Caso 2: } \quad Q(\text{ASO}) = 0.3767 * N1-2(\text{FMA}) + 0.1669 * AT(\text{MJJ}) + 0.0562$$
$$R = 0.45 \quad Fo(2.22) = 2.81$$

Se puede observar que el valor de Fo para esta correlación es bajo. La correlación simple de N1-2 (FMA) (Niño1+2 Feb-Mar-Abr) con los caudales de Ago-Set-Oct es más significativo:  $R = 0.41$ ;  $Fo(1.23) = 8.73$

## CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados podemos concluir que es perceptible una relación directa entre las anomalías de temperaturas del mar (Pacífico Ecuatorial y Atlántico Sur) y las anomalías de los caudales medios mensuales de las estaciones Uruguiana del río Uruguay y Ijuí-Ponte Mística del río Ijuí.

Los resultados expresados en las autocorrelaciones de las anomalías de caudal para los dos sistemas hídricos estudiados, permite considerarlos como parte de las variables de predicción.

Los retardos de hasta aproximadamente 6 meses, encontrados con las correlaciones cruzadas efectuadas con datos mensuales, indican una respuesta lenta de las cuencas a las variaciones de la temperatura del Pacífico y el Atlántico.

Existe una baja correspondencia positiva entre las anomalías de temperaturas del Pacífico y el Atlántico Sur en las latitudes entre 25° - 30° S y longitudes 30° y 60° O.

Se encontró que las anomalías de temperatura del Pacífico Ecuatorial referidas a las áreas conocidas como Niño1+2 y Niño3 son las que se encuentran mayormente relacionadas con las anomalías de caudales registrados en las estaciones del río Uruguay y Ijuí. Esta relación es además claramente directa indicando comportamientos afines entre las variaciones de las anomalías de temperatura y los caudales.

A pesar de la diferencia de áreas entre las dos cuencas estudiadas, no fue posible identificar variaciones significativas de los caudales frente a los cambios de las temperaturas de los Océanos Pacífico y Atlántico.

Considerando los resultados promisorios de este primer estudio, en el intento de entender la influencia de índices climáticos como el fenómeno Niño en el comportamiento de sistemas hidrológicos del Sur de Brasil, se recomienda efectuar un estudio más detallado que lleve en consideración los siguientes análisis:

- efectuar correlaciones cruzadas para los demás trimestres del año;
- completar las series de caudales hasta el año 1994 y efectuar procedimientos de validación de los pronósticos;
- evaluar el comportamiento en otras cuencas de la región y en otras escalas espaciales;
- ejecutar un análisis de regionalización con el comportamiento de las diferentes cuencas;
- establecer con mejor precisión setores del Atlántico Sur y del Pacífico Ecuatorial que mejor respondan a los caudales del Sur de Brasil;
- estudiar la influencia de otros indicadores, como el Índice de Oscilación Sur (IOS) en el régimen hidrológico del Sur de Brasil.

Tabla 1.- Correlaciones Simples. Trimestre con mayor frecuencias de altos caudales.

Cuenca Río Uruguay		Caudal Trimestre: ASO	Significancia: 4.15
Temperaturas	Trimestre	Coeficientes de Correlación	
N12	FMA	0.44	
ATL	MJJ	0.36	
N3	FMA	0.35	
Cuenca Río Ijuí		Caudal Trimestre: ASO	Significancia: 4.30
Temperaturas	Trimestre	Coeficientes de Correlación	
N12	FMA	0.41	
N3	FMA	0.40	
ATL	MJJ	0.37	

Tabla 2.- Correlaciones Simples. Trimestre con mayor frecuencia de bajos caudales.

Cuenca Río Uruguay		Caudal Trimestre: FMA	Significancia.: 4.15
Temperaturas	Trimestre	Coeficientes de Correlación	
N12	NDE	0.45	
N3	ASO-NDE	0.33	
N12	ASO	0.32	
Cuenca Río Ijuí		Caudal Trimestre: FMA	Significancia: 4.30
Temperaturas	Trimestre	Coeficientes de Correlación	
ATL	NDE	0.36	
N4	MJJ	0.35	

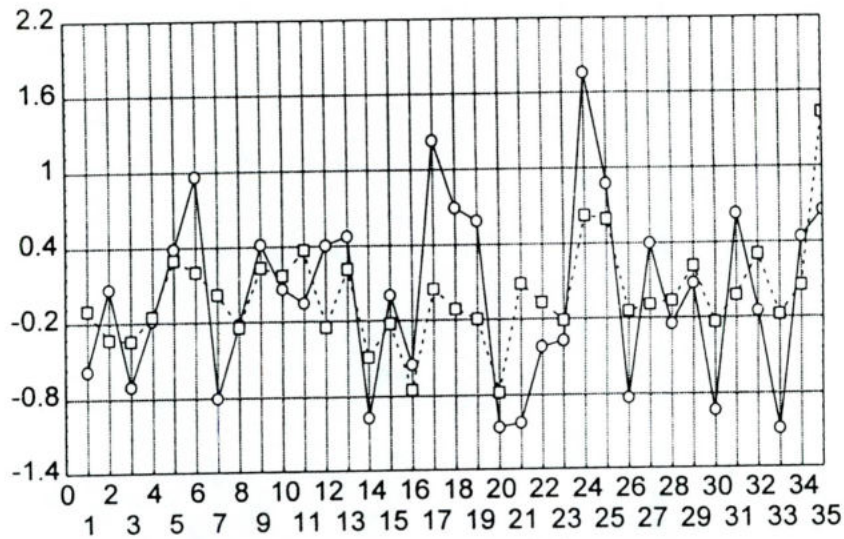


Figura 1.- Predicción con caudales previos para el río Uruguay. La línea llena representa los valore observados y la línea punteada los valores calculados por el modelo.

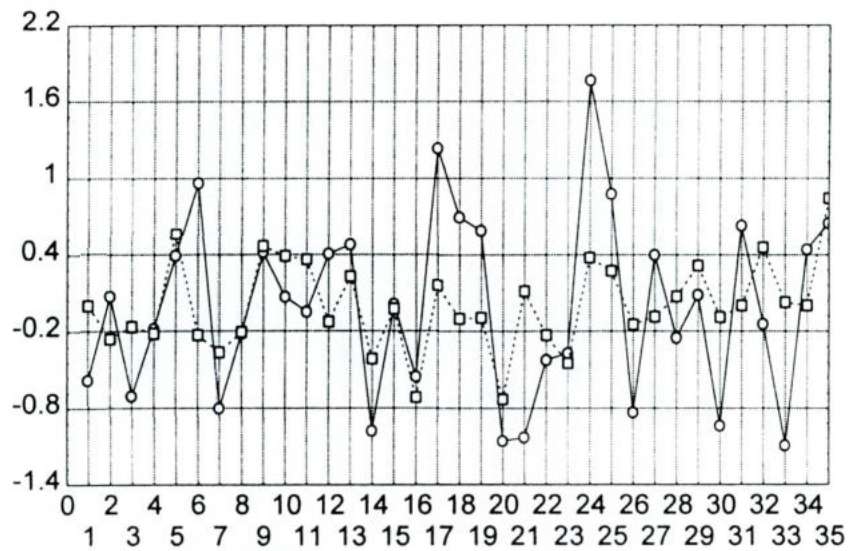


Figura 2.- Predicción sin caudales previos para el río Uruguay. La línea llena representa los valore observados y la línea punteada los valores calculados por el modelo.

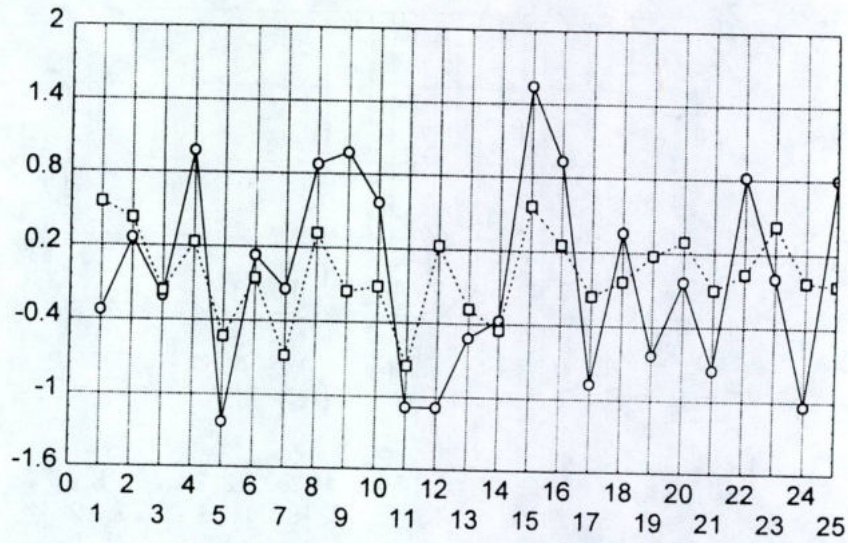


Figura 3.- Predicción sin caudales previos para el río Ijui. La línea llena representa los valore observados y la línea punteada los valores calculados por el modelo.

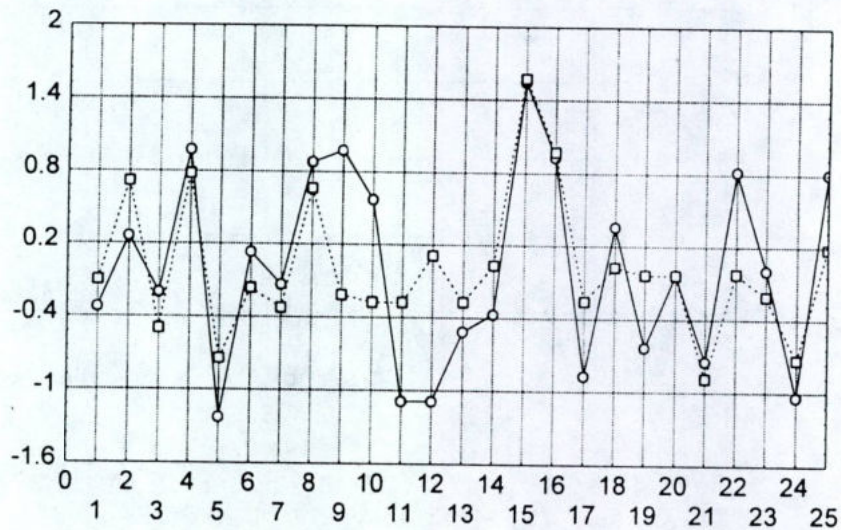


Figura 4.- Predicción con caudales previos para el río Ijui. La línea llena representa los valore observados y la línea punteada los valores calculados por el modelo.

## **ANOMALIAS DE CAUDALES EN CHILE: UN INTENTO DE PRONOSTICO CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DEL FENOMENO ENOS**

Daniel BENITEZ G.

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Con anterioridad se han estudiado los regímenes fluviométricos de Chile y su relación con el Niño (Aceituno y Vidal, 1990; Aceituno y Garreaud, 1994) observándose que para los ríos con componente nival importante (al norte de los 35°), la coincidencia del invierno con eventos cálidos (Niño) provoca mayores precipitaciones aumentando el volumen para deshielo disponible en verano. Lo contrario sucede cuando sobrevienen eventos fríos. Más al sur no parece relevante la relación. Se reconoce también que el grado de asociación es en general variable en el tiempo y la respuesta a eventos Niño no es de igual intensidad que la respuesta a eventos fríos o de la Niña.

Se ha estudiado también el pronóstico estacional de los caudales de algunos ríos en Chile central (Montecinos y Garreaud, 1994) usando como predictor las temperaturas del pacífico tropical. De los resultados se ha observado que es posible obtener niveles de predictabilidad superiores al pronóstico que utiliza la persistencia interanual, para una antelación de entre 3 y 6 meses.

En el presente trabajo se analizarán en forma preliminar las series de tiempo de 18 estaciones fluviométricas entre 30° y 41° de latitud con el objetivo de zonificar la influencia del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS). También se pretende seleccionar una serie, entre tres series de las temperaturas de la superficie del mar (TSM) y el Índice de Oscilación del Sur (IOS), para con ella como predictor, analizar el ajuste de modelos estadísticos de pronóstico a nivel mensual con períodos de 1 y 3 meses de previsión.

Se han seleccionado estaciones fluviométricas con registros lo más completos posibles y que se ubicasen en un rango amplio de latitudes. En el caso de datos faltantes estos han sido rellenados usando estaciones cercanas de comportamiento homogéneo o bien recurriendo a la persistencia de la propia serie. Las series de tiempo de TSM son las temperaturas superficiales del océano promediadas para tres regiones denominadas Niño1+2, Niño3 y Niño4. Para ellas y para el IOS la NOAA proporciona pronósticos periódicamente de hasta 18 meses. El registro de estas series se extiende desde 1949. Las 18 estaciones seleccionadas están indicadas en la Tabla 1 indicando sus principales características.

En Chile, los regímenes fluviométricos están muy relacionados con la latitud. En el norte, la ausencia casi total de lluvias determina ríos cuyos caudales se originan en deshielos, con máximos que ocurren entre noviembre y diciembre. En la zona central del país la componente pluvial se hace más importante pero sigue siendo el derretimiento de nieves el que provoca los máximos caudales promedio mensuales. En el sur, donde llueve más y la Cordillera de los Andes disminuye su altura, los ríos presentan mayor caudal en los meses de invierno del hemisferio sur, coincidiendo con el aumento de la lluvia. Por esta razón es obvio que de presentarse alguna relación, para cada cuenca el desfase sea distinto.

En primera instancia del análisis se desestacionalizaron las series y se estandarizaron obteniéndose "anomalías". De la correlación cruzadas entre las series de anomalías de caudales y cada una de las series de anomalías de índices se obtienen correlogramas como los de la Figura 1. Para las series de TSM los correlogramas son de signo contrario al de la figura pero su comportamiento es similar. A simple vista se observa que casi todos los ríos responden en forma similar y solo cambia la intensidad de la respuesta. En general los correlogramas muestran un leve aumento en el valor absoluto al inicio para llegar al máximo entre 3 y 6 meses, luego muestran máximos locales cerca de 29, 41 y 72 meses. Estos últimos picos coinciden con los meses donde se dan las mayores intensidades de frecuencia en el periodograma de la serie del IOS. Como resultado del análisis de todos los correlogramas se observa que en general es la relación con el IOS la más fuerte. Si bien lo anterior es válido cuando no se hace distinción entre los meses, no significa que para cada período del año sea esta la variable más explicativa. Incluso al tomar toda la serie sin

discriminar se pueden estar enmascarando las relaciones más importantes. Sin embargo, por simplicidad, en el desarrollo de los modelos que siguen, fue el IOS la variable que se consideró como representativa del fenómeno.

En la Figura 2 se muestran isóneas de correlación de todas las series con la serie del IOS retrasada 3 meses. Dado que las mediciones fluviométricas no son una variable isotrópica y que la orientación del escurrimiento en los ríos de Chile es en general de Este a Oeste, en la construcción de las isóneas se benefició esta dirección. De esta forma se puede rescatar la existencia de un gradiente en la dirección norte-sur observándose claramente que los ríos del centro de Chile tienen las mejores correlaciones.

Con los antecedentes hasta ahora obtenidos se ajustaron dos modelos distintos que incluían la variable IOS y se compararon con dos modelos que solo consideraban la persistencia. Los modelos se muestran en el siguiente cuadro:

MODELO:	COMPARADO CON:
$Z_t - fZ_{t-1} - bS_{t-3} = a_t$	$Z_t - fZ_{t-1} = a_t$
$Z_t - fZ_{t-3} - bS_{t-3} = a_t$	$Z_t - fZ_{t-3} = a_t$

donde :  $Z_t$  es la anomalía de los caudales en el mes  $t$ ;  $S_t$  es la anomalía del IOS en el mes  $t$ ;  $a_t$  es un ruido blanco;  $f$  y  $b$  parámetros.

El primer modelo pretende observar si es posible mejorar un modelo que intenta predecir con un mes de antelación. El segundo es similar pero para tres meses. En ambos casos se consideró la anomalía del IOS ocurrida 3 meses antes. Se realizó la estimación de parámetros mediante el método de mínimos cuadrados. Los modelos se comparan observando la varianza del error  $a_t$  y el número de parámetros estimados.

En general los ajustes se ven mejorados. Más significativo es en el caso del segundo modelo debido a que la persistencia es menos importante en tres meses que en un mes. Sin embargo no se consideran mejorías significativas considerando que el número de parámetros empleado aumenta al doble. Los modelos de pronóstico propuestos son como sigue:

$$\begin{aligned} Z_t &= fZ_{t-1} + bS_{t-1} \\ Z_t &= fZ_{t-3} + bS_{t-3} \end{aligned}$$

donde los límites de confianza se construyen en base a que el error es un ruido blanco de varianza conocida. En la Tabla 2 se presentan algunos de los resultados obtenidos.

En base al criterio de Información de Akaike, que toma en cuenta la parsimonia del modelo y la varianza del error, los modelos que consideran el IOS se aceptan como mejores en todas las estaciones donde la correlación es significativa.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se confirma la existencia de una relación entre las anomalías del Niño y las anomalías de caudales en Chile. También se reafirma el hecho de que esta disminuye a medida que se avanza hacia el sur. La inclusión del índice IOS como un predictor más produce una disminución en la varianza de los errores de ajuste en los modelos.

Se debe estar consciente que la influencia entre el ENOS y los caudales en Chile varía mucho dependiendo del momento del año. Por esta razón sería más adecuado formular modelos donde los parámetros varíen en forma mensual o estacional.

Tan importante como mejorar la calidad de los modelos de pronóstico, es la búsqueda de aplicaciones prácticas de ellos. Esto último, sin duda, es uno de los caminos a emprender en la investigación futura. Parte importante de la generación hidroeléctrica del país se desarrolla en la zona donde la predictabilidad es mayor así como gran parte de la agricultura de secano.

El análisis de las sequías hasta ahora no ha considerado la relación con el ENOS. La posibilidad de pronóstico de las sequías meteorológicas e hidrológicas abriría inmensas posibilidades a la planeación de los recursos hídricos.

## REFERENCIAS

Aceituno P. y F. Vidal, 1990; Variabilidad interanual en el caudal de los ríos andinos de Chile Central en relación con la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Central. Rev. Sociedad Ingeniería Hidráulica, Vol. 5, 1.

Aceituno P. y R. Garreaud, 1994; Impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en regímenes fluvimétricos andinos. XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Santiago- Chile, 7-11.

Montecinos A. y R. Garreaud, 1994; Pronóstico estacional del régimen fluvimétrico en Chile Central. XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Santiago- Chile, 7-11.

Tabla 1.- Estaciones seleccionadas

Estación	Período (años)	Area km2	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura (m)	Mes máximo
Aconcagua en Chacabuquito	1949-1985	2400	32°50'	70°34'	1030	DIC
Allipen en los Laureles	1949-1985	1503	38°59'	72°14'	190	JUL
Bio-Bio en Rucalhue	1949-1985	7044	37°43'	71°54'	245	JUL
Cautin en Rari-Ruca	1949-1985	1365	38°26'	71°59'	400	JUL
Chillan en esperanza	1949-1985	224	36°47'	71°45'	435	JUL
Choapa en puente negro	1949-1985	3725	31°41'	71°16'	200	NOV
Claro en los Queñes	1949-1985	350	35°00'	70°49'	900	NOV
Colorado en Junta con Palos	1949-1985	942	35°16'	71°01'	600	DIC
Elqui en Algarrobal	1949-1985	5729	30°00'	70°35'	760	DIC
Ñuble en San Fabian	1949-1985	1709	36°34'	71°33'	410	NOV
Grande en puntilla San Juan	1949-1985	3512	30°42'	70°55'	420	NOV
Itata en Cholguan	1949-1985	852	37°09'	72°04'	220	JUL
Diguillin en San Lorenzo	1949-1985	162	36°56'	71°34'	598	JUL
Maipo en el Manzano	1949-1985	4968	33°35'	70°24'	850	DIC
Maule en Armerillo	1949-1985	5323	35°42'	71°03'	310	NOV
Pilmaiquen en San Pablo	1949-1985	2680	41°22'	73°01'	50	JUL
Tinguiririca bajo Los Briones	1949-1985	1400	34°41'	70°52'	518	DIC
Tolten en Villarica	1949-1985	2880	39°16'	72°14'	250	JUL

Tabla 2.- Mejora porcentual en la desviación estándar del error de ajuste en cada modelo

Modelo 1: Desvio del Error	Modelo 2: Desvio del Error		
	Sin IOS	Con IOS	% de mejora
Colorado	0.776	0.760	1.643
Choapa	0.716	0.700	1.597
Claro	0.796	0.784	1.215
Tingui	0.747	0.737	1.052
Maipo	0.535	0.526	0.921
Maule	0.741	0.732	0.843
Grande	0.590	0.582	0.728

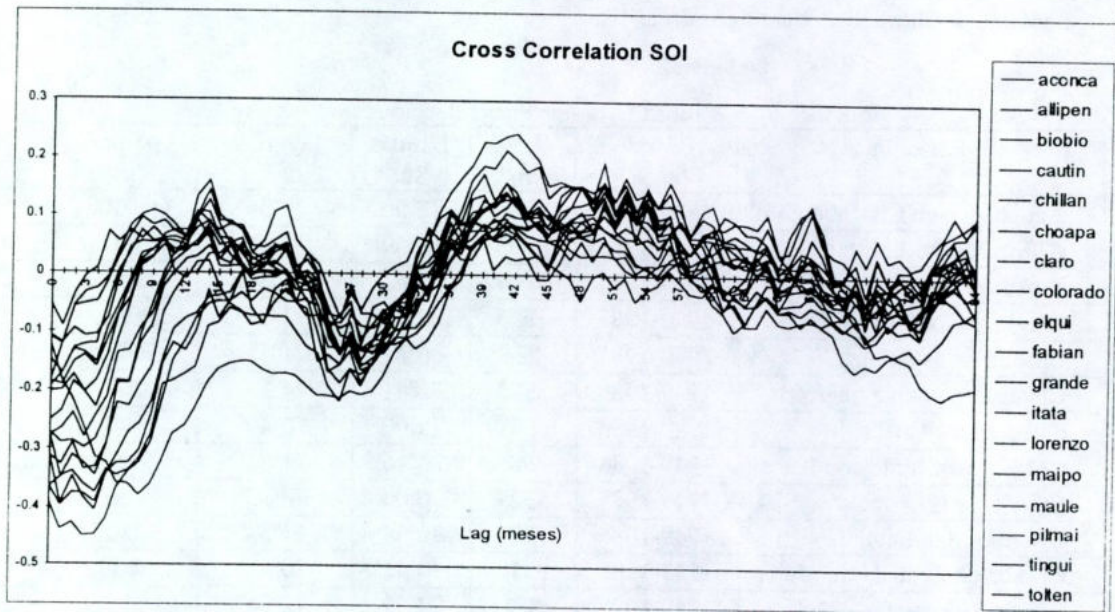


Figura 1.- Correlación cruzada entre las series de anomalías de caudales del IOS

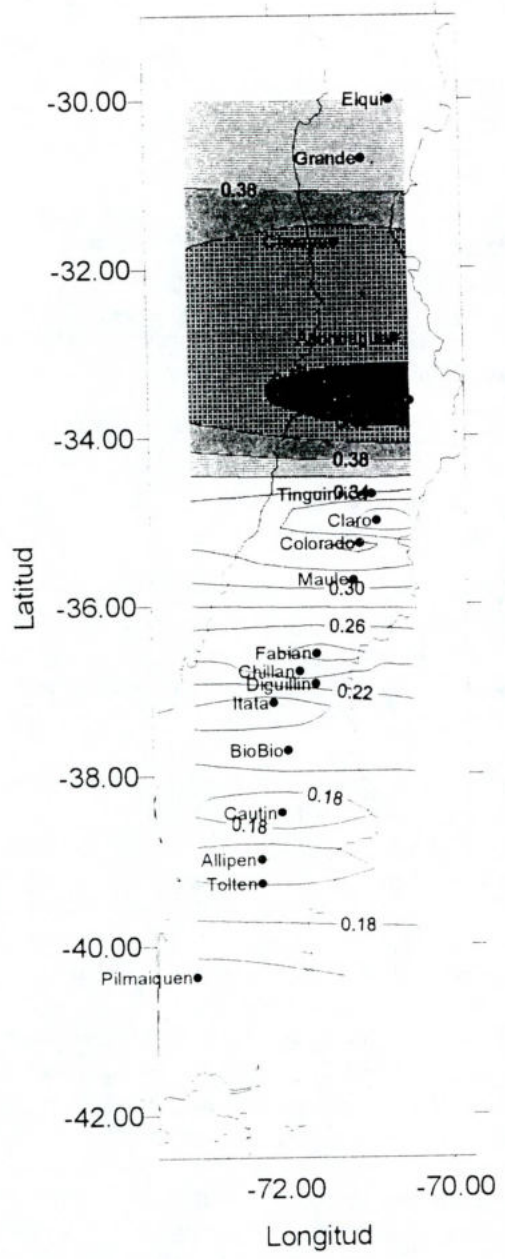


Figura 2.- Correlación entre los caudales y el IOS rezagado 3 meses

## ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE EL ENOS Y EL REGIMEN FLUVIOMETRICO EN CUENCAS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE

Gabriel CASTRO ARAYA

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile  
Santiago, Chile

En la zona central de Chile se realiza un aprovechamiento integral de los recursos hídricos, coexistiendo procesos de generación hidroeléctrica, riego, actividades industriales y abastecimientos de agua potable, entre otros. Para realizar una planificación eficiente, resulta de vital importancia contar con relaciones de pronóstico que permitan estimar en forma anticipada y con cierto nivel de certeza, la disponibilidad de agua para una temporada próxima. De esta forma, en la medida que se disponga de información confiable, es factible tomar decisiones, las que en mediano y largo plazo se pueden traducir en éxitos o fracasos económicos.

En la actualidad, los pronósticos se realizan utilizando modelos de distinta naturaleza, tales como modelos de derretimiento de nieves, autorregresivos, generación de series sintéticas a través de procesos estocásticos, etc. Dentro de este ambiente, la incorporación de El Niño/ Oscilación del Sur (ENOS) abre una nueva perspectiva en las herramientas de evaluación y planificación de los recursos hídricos.

En efecto, diversos estudios (Aceituno et al., 1990, Montecinos et al., 1994), indican que en esta zona existe una alta relación entre la temperatura del Pacífico Tropical y el régimen pluviométrico y fluviométrico de la región. De esta forma, se ha observado que cuando se manifiesta el fenómeno de El Niño, en general, se produce un incremento de las precipitaciones con el consiguiente aumento en los caudales, habiéndose producido crecidas de importancia en algunos de estos años.

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, este estudio tiene por objetivo establecer el nivel de correlación que existe a nivel mensual, entre los caudales de los ríos de las principales cuencas de la zona central del país (los ríos Maipo, Rapel, Maule y Bío-Bío), con el Índice de Oscilación del Sur y las temperaturas del Océano Pacífico ecuatorial, en las zonas denominadas Niño3 y Niño4. Se pretende utilizar individualmente como predictor a cada uno de los índices, identificando mes a mes, cuál de ellos permite realizar pronósticos estadísticamente significativos. Se debe hacer notar que es necesario tener en consideración la marcada distinción existente en la hidrología de la región, que se manifiesta estacionalmente en un período pluvial y otro de deshielo.

La zona central de Chile se ubica aproximadamente entre los 33°S y 38°S, limitando en sus extremos con las hoyas hidrográficas del río Aconcagua por el norte y del río Imperial por el sur. Los principales cursos de agua nacen en la Cordillera de los Andes y avanzan en el sentido este-oeste hasta desembocar en el Océano Pacífico. Estos ríos presentan un régimen hidrológico mixto, predominando la componente nival en el sector norte. En la medida que se avanza hacia el sur, se manifiesta en forma importante la componente pluvial, lo cual es consecuente con el régimen de precipitaciones imperantes en la zona. De esta forma, los mayores caudales medios mensuales se producen en el período de verano, mientras que los caudales máximos instantáneos se registran en invierno y están asociados principalmente a la ocurrencia de precipitaciones intensas producto del paso de frentes de mal tiempo.

Se destacan dentro de esta zona, tanto por su tamaño como por las actividades económicas que se desarrollan, las cuencas del río Maipo, río Rapel, río Maule y río Bío-Bío. En ellas se concentra el mayor uso del agua con fines de generación hidroeléctrica, riego, actividades industriales y consumo de agua potable.

Sobresalen como principales obras hidráulicas en la cuenca del río Maipo la central Alfalfal y el embalse Yeso, el que se utiliza para regular el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Santiago. Además, existen otras centrales hidráulicas de menor tamaño junto con numerosas extracciones que se realizan con fines de riego. De la misma manera, inmediatamente al sur de la cuenca del río Maipo se encuentra el río Rapel, donde se ubica la central hidroeléctrica Rapel. Este genera un importante lago artificial, el que se aprovecha con fines turísticos, entre otros.

En la medida que se continúa hacia el sur, se destacan las hoyas hidrográficas del río Maule y del río Bío-Bío. En la cuenca del río Maule se ha realizado el mayor aprovechamiento de los recursos hídricos para diversos fines. Se ubican en esta zona las centrales Cipreses, Isla, Curilínque, Pehuenche, Colbún y Machicura, además de la existencia de dos lagunas naturales (la Laguna del Maule y la Laguna La Invernada) las cuales descargan sus aguas al río Maule. Por tratarse de una zona principalmente agrícola, existen importantes obras destinadas a restituir derechos de aguas asignados a los regantes del sector.

La cuenca del río Bío-Bío se ubica en el centro-sur del país presentando un elevado potencial hidroeléctrico, el cual se comenzará a aprovechar una vez que entre en funcionamiento la central Pangué, actualmente en construcción. Esta central, es la primera de un proyecto de aprovechamiento integral del río Bío-Bío. Además, esta cuenca es de vital importancia dado que sus recursos son utilizados en actividades industriales y en el abastecimiento de agua potable de algunas ciudades, entre las que se destaca Concepción. Para realizar este estudio se seleccionó en cada una de las cuencas, una estación de control fluviométrico, teniendo en consideración la longitud del registro y la calidad de la información, las que se indican en la Tabla 1.

Desde la cuenca del río Maipo hasta el río Maule, existe un predominio de los caudales de deshielo, produciéndose los valores máximos en los meses de noviembre, diciembre y enero. Para los meses invernales, en la medida que la cuenca se ubica más al sur, progresivamente se comienza a hacer notar la componente pluvial, manifestándose como la principal componente en la estación Bío-Bío en Rucalhue, aunque no se hace despreciable la componente de origen nival. Para la estación Maipo en el Manzano, los caudales medios mensuales muestran un incremento importante en aquellos años en que ocurrió el fenómeno ENOS.

Para cada estación seleccionada, se correlacionó mediante regresión lineal simple, cada una de las series mensuales de caudales estandarizados, con las distintas series de temperatura mensual estandarizada en las zonas Niño3 y Niño4. Análogamente, se realizó idéntico procedimiento con el IOS. En la Figura 1 se muestra, para los ríos ubicados en los extremos Norte y Sur, los valores máximos del coeficiente de correlación obtenido del análisis de las distintas series. En este gráfico no se indica el desfase mensual entre las variables. Se observa en ambos casos, que en el período de deshielo se obtienen mejores valores del coeficiente de correlación utilizando la región Niño3, mientras que para el período pluvial, la mayor dependencia se obtiene con el IOS, perdiendo significancia estadística la región Niño3. Además, estos resultados son mejores cuando se trabaja con el río Maipo, el que se ubica en el sector más al Norte.

Para la estación Maipo en el Manzano se observa que los meses de primavera (octubre y noviembre) presentan una alta dependencia con las temperaturas de mayo, mientras que en el resto del período predominan las temperaturas de diciembre. En un análisis similar para los caudales de abril a setiembre se puede observar que los primeros meses de otoño (abril y mayo), al igual que como ocurre con los caudales de verano, se relacionan con las temperaturas de diciembre. Por otro lado, en los meses de junio, julio y agosto existe una relación con las temperaturas de marzo.

En la Figura 2 (período de deshielo) y la Figura 3 (período pluvial) se muestra un resumen con los resultados de las correlaciones obtenidas en las cuencas analizadas; los rótulos en las curvas representan los meses en la región Niño3 con los cuales se obtiene el mejor ajuste. En ellas se observa durante el período de deshielo un comportamiento similar al descrito anteriormente. No obstante, se debe destacar que en la cuenca del río Bío-Bío algunos resultados pierden significancia estadística (valores del coeficiente de correlación inferiores a 0,2 aproximadamente). Por otro lado, en los meses de invierno (junio, julio y agosto), resultan ser significativas las temperaturas desde marzo a mayo, mientras que el mes de setiembre es dependiente en sí mismo.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis realizado, se ha observado que los mayores valores del coeficiente de correlación se obtienen utilizando el IOS y las temperaturas de la superficie del océano Pacífico en la región Niño3. Considerando el régimen hidrológico de la región, se aprecia la existencia de una alta relación entre los caudales del período de deshielo y las temperaturas de la región Niño3. Por otro lado, el IOS resulta ser un buen predictor para los caudales durante el período pluvial. Con la región Niño4 se obtienen correlaciones que en general resultan ser poco satisfactorias.

Si se comparan los resultados obtenidos de acuerdo a la posición geográfica, las correlaciones disminuyen en las cuencas ubicadas más al sur, esto se verifica al comparar los valores obtenidos en las cuencas ubicadas en los extremos.

Por otro lado, los caudales durante los meses de verano son dependientes de las temperaturas de fines de la primavera y de comienzo del verano (noviembre - diciembre). De acuerdo a esto, podría existir una relación entre el fenómeno El Niño, la radiación incidente sobre el manto nival y la temperatura en la región.

Adicionalmente, los caudales en los meses de invierno se relacionan directamente con las temperaturas de la región Niño3 de fines de la temporada de deshielo y del comienzo del período pluvial (febrero - mayo). Con respecto a los meses de transición entre invierno y verano o viceversa, existe una relación que probablemente guarda memoria entre la temporada anterior y las condiciones del momento.

Como propuesta para futuras investigaciones, se recomienda estudiar la dependencia entre el IOS y los caudales de invierno. Desde esta perspectiva, sería factible investigar la frecuencia de ocurrencia de crecidas o de intensidad de precipitaciones, haciendo la distinción entre los años Niño y Niña.

Tabla 1.- Ubicación de las estaciones fluviométricas seleccionadas

Cuenca	Estación	Lat.	Lon.	Alt. msnm	Area km2	Período
Río Maipo	Río Maipo en el Manzano	33 35	70 24	850	4968	1949-1989
Río Rapel	Río Tinguirica, Bajo Briones	34 41	70 52	518	1400	1949-1989
Río Maule	Río Maule en Armerillo	35 42	71 06	450	5323	1949-1989
Río Bío-Bío	Río Bío-Bío en Rucalhue	37 43	71 54	245	7044	1949-1989

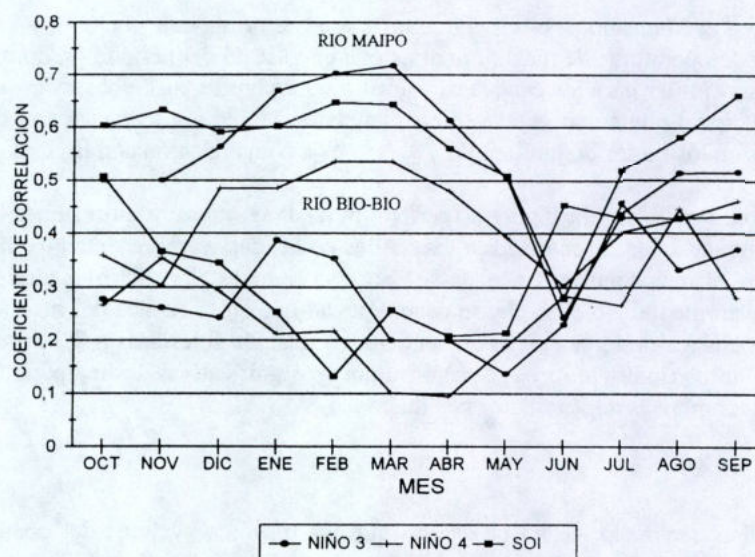


Figura 1.- Coeficiente de correlación entre los caudales de los ríos Maipo (3 curvas superiores) y Bio-Bio (3 curvas inferiores) y las temperaturas de las regiones Niño3 curva a), Niño4 curva b) y el IOS curva c).

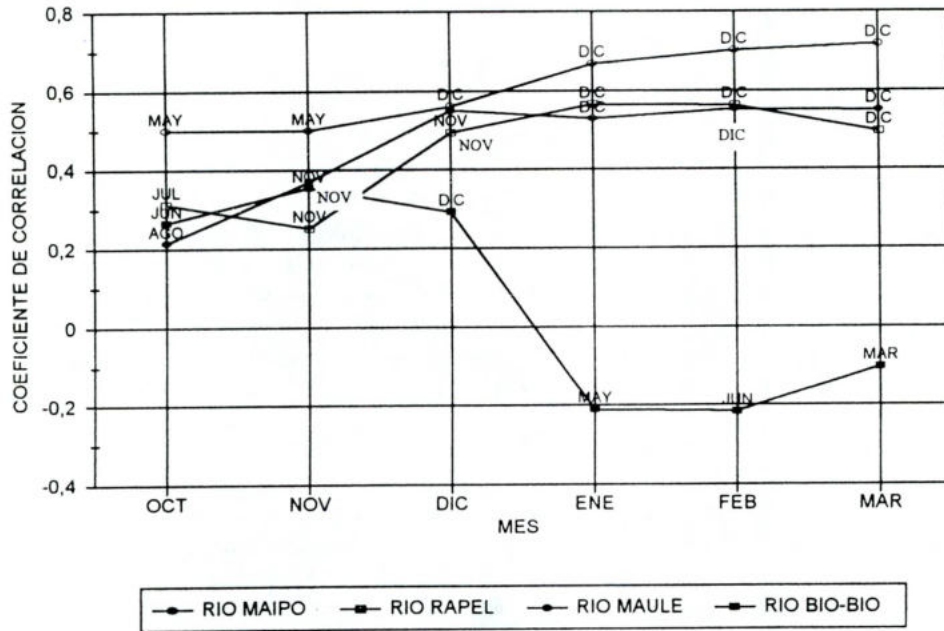


Figura 2.- Coeficientes de correlación, durante el período de deshielo, entre las temperaturas de la región Niño3 y los caudales de los ríos Maipo curva a), Rapel curva b), Maule curva c) y Bío Bío curva d). El rótulo en las curvas indica el mes con la más alta correlación.

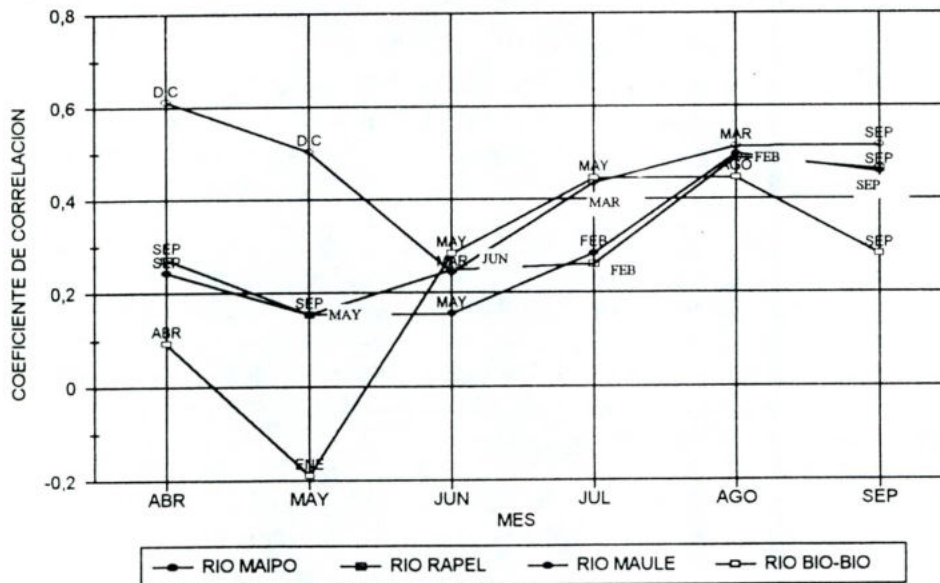


Figura 3.- Idem Figura 2 durante el período pluvial.

## ESTIMACION DE MODELOS DE PRONOSTICO DE CAUDAL PARA EL SECTOR ELECTRICO COLOMBIANO USANDO INDICES MACROCLIMATICOS ASOCIADOS AL ENOS

Edgar CADAVID MAZO  
Interconexión Eléctrica SA  
Medellín, Colombia

El fenómeno ENOS, de naturaleza oceánico-atmosférica presenta efectos muy destacados a escala global. La ocurrencia del ENOS ha incidido de manera catastrófica en muchos países tropicales, entre ellos Colombia. El pasado evento cálido de los años 91-92 produjo en Colombia una sequía generalizada, afectando sectores de gran incidencia económica como el agropecuario y el eléctrico. El sector eléctrico por ejemplo, cuya capacidad instalada está compuesta en un 80% hidráulica y en un 20% térmica, presentó disminuciones en los aportes hídricos mensuales al sistema hidroeléctrico de hasta el 51,6% durante el período, lo cual llevó a racionamientos de energía eléctrica por más de siete meses.

Sin embargo, las crisis también generan oportunidades y es por esto que a partir del evento cálido 91-92 el tema de la incidencia del fenómeno ENOS sobre la hidrología colombiana ha venido ocupando la atención no sólo de investigadores, sino también la de todos aquellos sectores que se han visto afectados por su ocurrencia. En el Sector Eléctrico Colombiano (SEC), la empresa Interconexión Eléctrica S.A. - ISA, encargada de la planeación, coordinación y control de la operación de los recursos energéticos usados para la generación eléctrica, inició todo un proceso de investigación que busca mejorar los pronósticos de caudales. Como resultado de este proceso ya se cuenta con algunos modelos preliminares que incorporan algunos índices macroclimáticos relacionados con el ENOS. (ver ISA - Universidad Nacional de Colombia, 1994; Documento Interno ISA CND 95-111).

El objetivo de este trabajo es el de presentar el esbozo de una metodología que permita encontrar modelos de pronóstico de caudales de utilidad para el planeamiento del sistema eléctrico colombiano, en particular se trabajará sobre una metodología que se ha venido empleando en ISA. Los modelos resultantes incluirán señales macroclimáticas.

La información básica empleada incluye series a nivel mensual de caudales y de índices macroclimáticos asociados con el ENOS.

De acuerdo con el conocimiento que se tiene de los ríos asociados al SEC, se buscó aplicar la metodología propuesta a dos ríos que presentan diferente comportamiento frente al ENOS. El primero de ellos, el río Cauca a la altura de la Central Hidroeléctrica de Salvajina, ha mostrado claras respuestas ante los eventos; mientras que el segundo río seleccionado, río Batá asociado a la Central Hidroeléctrica de Chivor, no ha mostrado una relación directa con el fenómeno.

Las series de las variables macroclimáticas asociadas al ENOS utilizadas corresponden al índice de oscilación del sur (IOS) y a las temperaturas de la superficie del océano Pacífico (TSM) en las regiones Niño1+2, Niño3 y Niño4. Adicionalmente, utilizando la base de datos COADS se definieron series de temperatura superficial del mar para tres regiones del océano Atlántico localizadas frente a las costas del norte del Brasil, de Guyana y de Venezuela. La Tabla 1 presenta las series de caudales utilizadas. Es importante señalar que las series de caudales están referidas al sitio de presa de las centrales hidroeléctricas asociadas.

Es importante anotar que todos los análisis realizados a lo largo de esta sección utilizan las anomalías estandarizadas de las series de caudales y de las variables macroclimáticas, lo cual tuvo por objeto trabajar con anomalías y remover el ciclo anual de las series.

Para identificar la señal del Niño sobre las series de caudal, se graficó simultáneamente la serie de caudal con el IOS utilizando promedios móviles de 4 y 6 meses para suavizar las señales. La serie Salvajina (río Cauca) muestra la señal más clara del Niño (Tabla 2), observándose una coincidencia para la mayor parte de las anomalías.

A través del método de correlación cruzada se buscó encontrar la relación del caudal con cada variable macroclimática. Se calculó el autocorrelograma de cada serie de caudales y la correlación cruzada de éstas con los índices de TSM del Océano Pacífico. Adicionalmente, dada la baja señal encontrada del ENOS para el río Batá, se calculó la correlación cruzada entre este río y las temperaturas superficiales del Atlántico en tres regiones (Región 1: 0-15S;15-45O, Región 2: 15N-0;30-45O, Región 3: 15N-0;45-60O).

La Tabla 2 presenta las mejores tres correlaciones con sus correspondientes rezagos obtenidas para el río Salvajina y el río Batá. En ella se observa cómo de acuerdo con las correlaciones obtenidas las regiones Niño3 y Niño4 aportan buena información acerca del caudal en Salvajina con tiempos de anticipación de 3 y hasta 4 meses. Obsérvese que ya a partir del tercer mes las correlaciones con temperaturas en las regiones Niño3 y Niño4 superan el autocorrelograma de caudal. El río Batá muestra bajas correlaciones con las variables asociadas al ENOS, y aún más bajas son las correlaciones con las temperaturas del Océano Atlántico.

Para hallar modelos de pronóstico se eligió hacerlo mediante Regresión Lineal Múltiple, que es una metodología que permite incorporar el mayor número de variables explicativas potenciales para pronosticar el caudal. El procedimiento usado fue el siguiente: a) de acuerdo con los resultados de las correlaciones cruzadas de los caudales con las variables macroclimáticas, se consideraron como potenciales predictores aquellas variables con los respectivos rezagos que presentaron una significativa correlación con el caudal. Adicionalmente, se consideró incluir los tres primeros rezagos de la variable caudal, dado que los caudales guardan fuerte relación con los inmediatamente pasados (persistencia). Es importante señalar que se reservó de cada serie los últimos diez años para usarlos en la validación de los modelos estimados. Se eligieron como potenciales predictores (variables explicativas) las siguientes variables:

Río Salvajina:		Río Batá	
Rezago	Variable	Rezago	Variable
3 a 5	N12	6 y 7	N12
2 a 6	N3	4 a 7	N3
1 a 5	N4	5 a 7	N4
1 a 3	IOS	5 a 7	IOS
1 a 3	Caudal (Q)	1 a 2	Atla1
		1 a 3	Caudal (Q)

Como puede observarse, para el río Batá se desecharon como potenciales predictores las temperaturas del Océano Atlántico para las regiones Atla2 y Atla3 por bajas correlaciones.

b) se seleccionaron los mejores predictores a través del procedimiento stepwise, usando un valor de 10 del estadístico F para entrada de variables. A través de este procedimiento se estimaron cuatro modelos que permiten predicción a uno, dos, tres y cuatro meses.

La Tabla 3 presenta los modelos obtenidos para los ríos Cauca-Salvajina y Batá respectivamente. Es importante anotar que los contrastes (test *t* y *F*) para calificar la validez individual y en conjunto de los coeficientes de regresión fueron superados para todos los modelos obtenidos con un nivel de significancia de 0.05.

Comparando los resultados de ambos ríos puede observarse que los modelos para Salvajina superan en bondad ( $R^2$ ) a los estimados para el río Batá, resultado que era de esperarse dada la clara señal que presenta Salvajina frente al Niño. Asimismo, se observa en la Tabla 3 para el río Batá, como el modelo para el pronóstico de dos a cuatro meses es el mismo, pues considera la temperatura en la región Niño3 rezagada cuatro meses; la diferencia radicaría en el caudal encontrado una vez que se desestandarice el valor hallado.

Para juzgar la validez de un modelo puede usarse la comparación entre los pronósticos y las ocurrencias históricas, usando para esto un período histórico no utilizado para estimar el modelo. En este trabajo esta validación sólo se llevó a cabo para los modelos del río Cauca - Salvajina, pues son mucho mejores que los encontrados para el río Batá, para lo cual se empleó el período histórico 1985 a 1994 no usado en la estimación del modelo lineal. Las gráficas contenidas en la Figura 1 presentan la comparación con el pronóstico de caudales hasta con cuatro meses de anticipación. En ella puede observarse lo siguiente: a) el ajuste entre los caudales observados y los pronosticados

puede calificarse como satisfactorio, en especial para el pronóstico a un mes lo que era de esperarse porque es el modelo de mayor bondad, b) resulta interesante observar que los cuatro modelos capturan en general las señales de anomalías positivas y negativas, lo cual es particularmente importante para el modelo de pronóstico a cuatro meses, ya que permite prever con cuatro meses de anticipación la disminución o aumento de los caudales.

Existen otras pruebas para juzgar la validez de un modelo de regresión lineal múltiple, en especial aquellas que permiten comprobar las hipótesis bajo las cuales se desarrolló el modelo (normalidad, independencia, homocedasticidad, etc). Sin embargo, por el carácter preliminar de este trabajo éstas pruebas no se realizaron.

## CONCLUSIONES

Los modelos encontrados deben juzgarse partiendo de las hipótesis y restricciones bajo las cuales se desarrollaron. La validación de un modelo lineal exige comprobar las hipótesis bajo las cuales se desarrolló el modelo, para lo cual existen muchas pruebas estadísticas, tal como las que se realizan sobre los residuos para probar normalidad, linealidad y homocedasticidad entre otras. Por lo preliminar de este trabajo no fueron realizadas tales pruebas, sin embargo en aplicaciones futuras deberán considerarse.

Los modelos encontrados para Salvajina evidencian el aporte de información que brindan las temperaturas del Océano Pacífico para el pronóstico. En especial esta participación crece a medida que se aleja el pronóstico en el tiempo (pronósticos a tres y cuatro meses de adelanto). Así mismo, es notorio el peso que tienen los caudales históricos previos ( $Q_{t-1}$  y  $Q_{t-2}$ ) al pronóstico para los modelos de uno y dos meses.

Por las condiciones del planeamiento operativo del Sector Eléctrico Colombiano, es de gran valor disponer de herramientas de pronóstico de caudales que consideren las condiciones del ENOS. Aunque se sabe que la relación entre los caudales y las variables macroclimáticas no es lineal, se observa que este tipo de modelos captura bien la señal del ENOS que quiere modelarse. Debe explorarse otro tipo de modelaje no lineal para comparar capacidad predictiva.

Es interesante y particularmente de gran potencial para el planeamiento operativo del Sector Eléctrico, usar las predicciones mensuales de las anomalías de temperatura en el Pacífico que hacen los modelos acoplados y de circulación general con tiempos de anticipo de hasta 18 meses. Estos pronósticos de TSM permitirían utilizar la ecuación de pronóstico de caudales con 4 meses de anticipación, por lo menos hasta un horizonte 22 meses de anticipación. Esto es algo que debe evaluarse.

La metodología aquí esbozada puede usarse para estimar modelos de pronóstico estacional (mensual o estacional por ejemplo verano, invierno, etc), los cuales posiblemente entreguen coeficientes de correlación más altos. La estimación de modelos estacionales es una tarea que deberá desarrollarse en el corto plazo.

La baja señal que presenta el río Batá con los índices macroclimáticos tratados, sugiere la búsqueda de relaciones con otras zonas del Pacífico y del Atlántico, así como con variables asociadas con la Amazonía.

Como trabajos a realizar en el corto tiempo en este mismo campo se planea aplicar esta metodología para encontrar modelos de pronóstico de caudales estacionales en los principales ríos que aportan sus aguas a los embalses del Sector Eléctrico Colombiano. Utilizando la base de datos de las temperaturas superficiales sobre el Pacífico y Atlántico, establecer cuáles son las regiones de estos océanos que tienen una relación más directa con la hidrología colombiana. Finalmente, emplear los pronósticos que se hacen de las temperaturas en el Pacífico para pronosticar anomalías de caudales con varios meses de anticipo para su aplicación en el sector eléctrico.

## REFERENCIAS

Informe de Operacion Sistema Interconectado Nacional 1994. Interconexion Electrica S.A. (ISA), Medellin, Colombia, 1995, 177p.

El Sistema Electrico en Colombia. Interconexion Electrica S.A. (ISA), Medellin, Colombia, 1985, 81p.

Metodología de Pronostico de Caudales en los Rios con Aprovechamiento Actual o Fturo del Sector Electrico Colombiano. Informe Final Convenio ISA y Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Colombia, 1995, 142p.

Calibracion Modelos de Regresion Lineal Utilizando Variables Macroclimaticas para los Principales Rios del Sistema Interconectado Nacional, Documento Interno ISA CND 95-111. Interconexion Electrica S.A. (ISA), Medellin, Colombia, 1995. 250p.

Tabla 1.- Series mensuales de caudales y de variables macroclimáticas

Nombre Serie	Período de registro (años)	Descripción
Salvajina	1946 - 1994	Caudales del río Cauca en Central Salvajina
Batá	1956 - 1992	Caudales asociados a la Central de Chivor

Tabla 2.- Mejores correlaciones entre caudales y variables macroclimáticas

Río Salvajina						
Variable	Corr	Lag	Corr	Lag	Corr	Lag
Autocorrelograma	.646	1	.500	2	.430	3
IOS	.451	0	.411	2	.409	1
N12	-.401	3	-.396	4	-.387	5
N3	-.492	3	-.488	4	-.479	2
N4	-.549	1	-.528	2	-.510	3
Río Batá						
Autocorrelograma	.400	1	.220	2	.177	3
IOS	.200	5	.187	6	.182	4
N12	-.243	7	-.22	6	-.169	5
N3	-.254	5	-.252	6	-.190	4
N4	-.206	6	-.203	5	-.172	4
ATLA1	-.182	0	-.169	1	-.163	2
ATLA2	-.128	0	-.098	1	-.086	2
ATLA3	-.054	4	-.028	3	-.025	6

Tabla 3a.- Modelos de pronóstico de caudales de uno a cuatro meses para el Río Cauca en Salvajina

Modelo	R <sup>2</sup>	R	Std. de los resid.
Un mes adelante $Q = 0.01862 + 0.51408*Q_{t-1} - 0.28293*N_{4t-1}$	0.480	0.693	0.747
Dos meses adelante $Q = 0.03194 + 0.29983*Q_{t-2} - 0.24861*N_{4t-2} - 0.19781*N_{3t-3}$	0.360	0.600	0.830
Tres meses adelante $Q = 0.03899 + 0.23413*Q_{t-3} - 0.22905*N_{4t-3} - 0.24757*N_{3t-3}$	0.320	0.565	0.856
Cuatro meses adelante $Q = 0.05155 - 0.29674*N_{3t-4} - 0.28261*N_{4t-4}$	0.250	0.500	0.897

Tabla 3b.- Modelos de pronóstico de caudales de uno a cuatro meses para el Río Batá - Chivor

Modelo	R <sup>2</sup>	R	Std. de los resid.
Un mes adelante $Q = 0.04491 + 0.37137*Q_{t-1} - 0.15402*N_{12t-7}$	0.182	0.427	0.893
Dos meses adelante $Q = 0.08833 - 0.23044*N_{3t-4}$	0.055	0.234	0.958
Tres meses adelante $Q = 0.08833 - 0.23044*N_{3t-4}$	0.055	0.234	0.958
Cuatro meses adelante $Q = 0.08833 - 0.23044*N_{3t-4}$	0.055	0.234	0.958

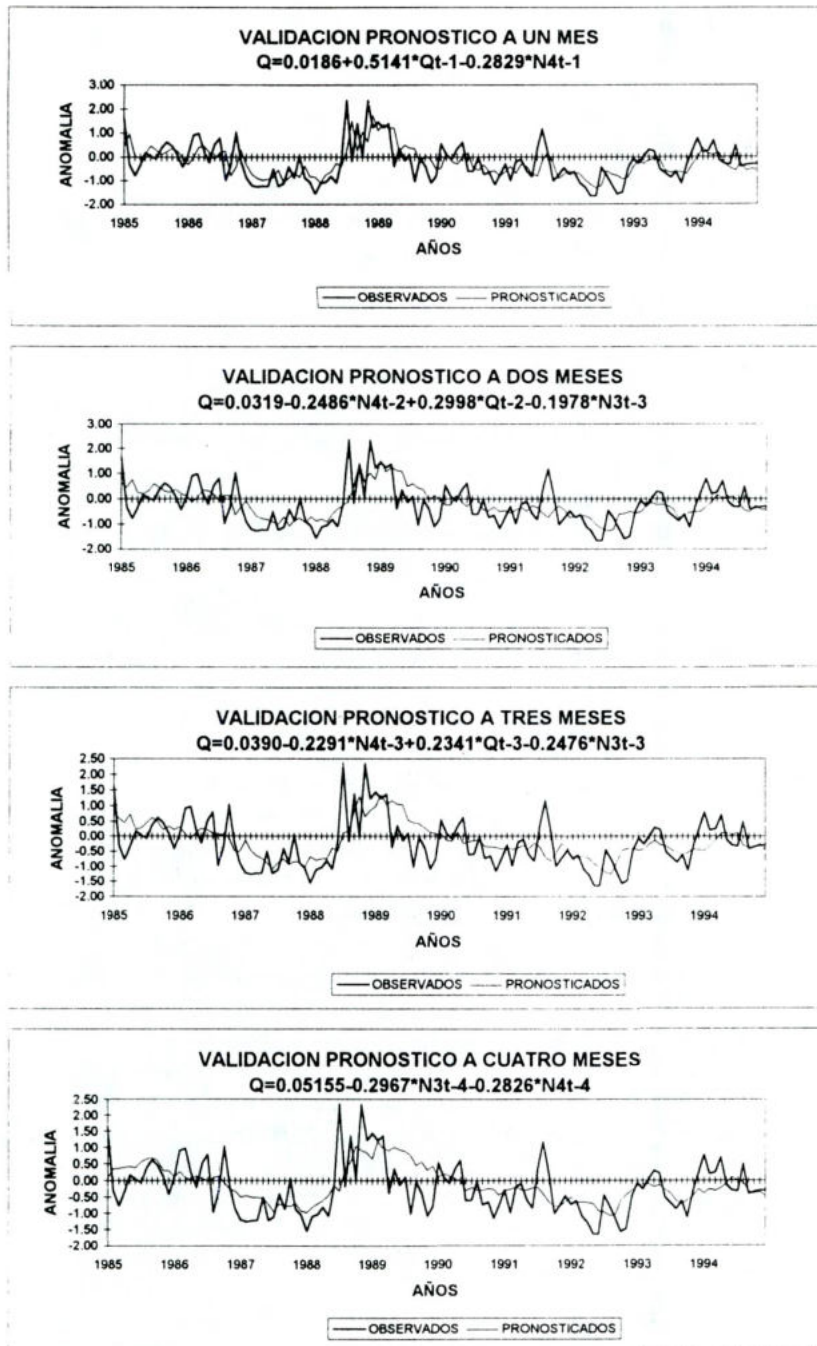


Figura 1.- Validación de diferentes modelos de pronóstico de caudales para Salvajina, durante el período 1985-1994. La línea gruesa representa los valores observados y la línea fina los valores pronosticados.

## **APLICACION PRACTICA DE LA PREDICCIÓN CLIMÁTICA EN EL PRONOSTICO DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN HIDROELECTRICA DE LAS EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN**

Héctor PIZARRO DÍAZ  
José E.SALAZAR V.  
Empresas Públicas de Medellín  
Medellin, Colombia

Empresas Públicas de Medellín (EEPPM) es una entidad municipal encargada de prestar los servicios públicos en una amplia región del departamento de Antioquia. Posee varios de los principales proyectos hidroeléctricos y entre ellos los de mayor capacidad de regulación en Colombia, y su sistema de generación eléctrica cubre gran parte de la demanda del sistema nacional interconectado.

Con el fin de realizar la adecuada operación del sistema de generación, Empresas Públicas de Medellín contrató con el Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional el desarrollo de metodologías de predicción de caudales (Univ. Nacional, Medellín). Este estudio comprobó la fuerte relación existente entre el régimen hidrológico de la zona donde se encuentran ubicados los proyectos hidroeléctricos y la evolución climática en el Océano Pacífico y en él se desarrollaron metodologías que, basadas en los datos de precipitación y caudal recolectados por la red hidrométrica y en los índices climáticos de evolución global, permiten hacer pronósticos de caudal mensual que se utilizan actualmente para la planificación de la operación. Este aspecto tiene ahora gran importancia ante las nuevas condiciones del mercado de generación en Colombia que pasa de ser un mercado regulado a uno de libre oferta.

Para las Empresas Públicas de Medellín es importante conocer como será el comportamiento de sus recursos hídricos para hacer un planeamiento adecuado de éstos y así competir eficientemente a nivel nacional en la oferta de energía. En este trabajo se aplicará el método de las componentes principales a cuatro series de caudales mensuales pertenecientes a los más importantes proyectos hidroeléctricos con el fin de determinar el patrón hidrológico de comportamiento común y la posibilidad de pronosticar las componentes principales con base en los índices climáticos. Además se calculará la correlación entre los caudales estacionales y las temperaturas de la superficie del mar (TSM) en las regiones Niño1+2, Niño3 y Niño4 del Océano Pacífico Ecuatorial. El objetivo es analizar la posibilidad de pronosticar los caudales estacionales promedios en el año siguiente basándose en los pronósticos de temperatura que entregan los modelos de evolución del Pacífico que actualmente funcionan. En la Tabla 1 puede observarse los sitios de medición de caudales seleccionados para el presente trabajo.

Se hizo el análisis de componentes principales a las series mensuales de caudales estandarizados de los ríos mencionados con el fin de extraer su patrón común. Al determinar las correlaciones de la primera componente (que explica el 70% de la varianza), con las temperaturas en las zonas Niño1+2, Niño3 y Niño4, se observa una notoria correlación. En particular se encontró que los valores más altos se presentan en la correlación con la zona Niño4 ( $r=0.49$ ), y rezagados 2 meses con relación a los caudales. En la Figura 1 se puede observar la serie de la primera componente principal y de la temperatura de la superficie del mar en la zona Niño4. La segunda componente (que explica cerca del 15 % de la varianza) no muestra correlación apreciable con las variables de evolución climática. Es interesante señalar que el periodograma de la primera componente presenta su máximo valor en el período de 54 meses, coincidiendo aproximadamente con periodos importantes del periodograma de la serie de temperatura de la zona Niño4.

Este resultado indica nuevamente la clara relación entre los caudales en la zona donde se localizan los principales proyectos de generación hidroeléctrica de Colombia y lo que sucede en el Océano Pacífico. Sin embargo, no se obtuvieron valores de correlación lo suficientemente altos que indiquen que sea preferible pronosticar la componente principal en vez de cada una de las series en forma independiente. Se plantea la posibilidad de realizar en el futuro este mismo análisis incluyendo un número mayor de series de caudales de la zona.

De otra parte, se exploró la posibilidad de pronóstico de los caudales estacionales mediante regresión lineal con las variables climáticas. La selección de las estaciones se realizó de acuerdo con los regímenes de caudales determinados por el paso del Frente Intertropical de Convergencia por el territorio colombiano (dos estaciones de caudales bajos: Enero-Marzo y Julio-Septiembre; y dos de caudales altos: Abril-Junio y Octubre-Diciembre).

Se correlacionaron los caudales trimestrales con las temperaturas promedio mensuales en las zonas Niño3 y Niño4 del Océano Pacífico. En general se encontró que la mayor correlación se presenta con el valor de temperatura en la zona Niño4 del mes inmediatamente anterior o con el primer mes del trimestre. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

## CONCLUSIONES

El resultado muestra que los ríos con mayor correlación son el río Grande y el río Nare. En estos dos ríos las mayores correlaciones se encuentran para las estaciones de menores caudales correspondientes a los trimestres uno y tres. Como ejemplo, en la Fig.2 se muestran los valores del caudal promedio del trimestre Enero-Marzo en el río Nare obtenidos con la ecuación de regresión que lo relaciona con la TSM del Niño4 en el mes de Enero. Los caudales trimestrales de los ríos Guatapé y Guadalupe tienen correlaciones más bajas y no existe una clara diferencia en la capacidad de predicción de las distintas estaciones.

En este trabajo se utilizaron como variables climáticas para la predicción las temperaturas superficiales del mar en las zonas Niño1+2, Niño3 y Niño4. Aunque los mejores resultados se encontraron con las temperaturas en la zona Niño4 y con un rezago de aproximadamente 2 meses, es posible que alguna otra zona del Pacífico presente mejores correlaciones con las series de caudales estudiadas. Si bien se observa una notoria relación entre los caudales en la zona estudiada y las condiciones en el Océano Pacífico, existen otros fenómenos de carácter local que también deberán estudiarse en el futuro.

En conclusión, y tal como se plantea en (1), existe una clara relación entre los caudales en la zona donde se localizan los principales proyectos hidroeléctricos en Colombia y las condiciones en el Océano Pacífico. Como consecuencia, la predicción climática es útil para realizar pronósticos de caudales en las diferentes escalas de tiempo requeridas lo cual permite una mejor operación del sistema de generación.

Tabla 1.- Ubicación geográficas de las estaciones seleccionadas.

Río	Localización		Area de la cuenca(km <sup>2</sup> )	Período de registro
	Latitud	Longitud		
Nare	6 16' N	75 18' O	842	1955-1994
Grande	6 30' N	75 26' O	1056	1955-1994
Guadalupe	6 42' N	75 16' O	276	1955-1994
Guatapé	6 30' N	75 26' O	180	1959-1994

Tabla 2.- Valores de correlación de los caudales promedio trimestrales y los valores mensuales de las temperaturas del Océano Pacífico en la región Niño4.

Río	Trimestre							
	ene-mar		abr-jun		jul-sep		oct-dic	
	feb	ene	may	abr	ago	jul	nov	oct
Nare	0.72	0.72	0.40	0.38	0.68	0.71	0.44	0.61
Grande	0.72	0.75	0.48	0.41	0.70	0.72	0.57	0.69
Guadalupe	0.44	0.42	0.35	0.25	0.38	0.32	0.36	0.46
Guatapé	0.37	0.42	0.41	0.46	0.20	0.27	0.12	0.26

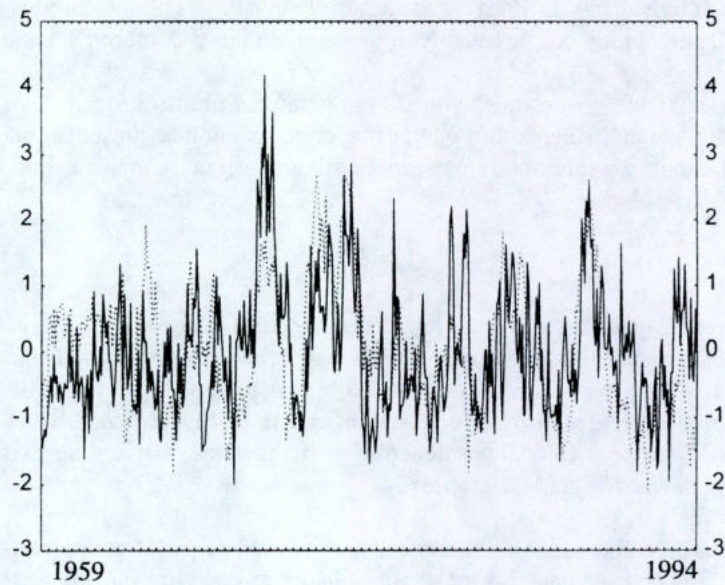


Figura 1.- Primer componente principal de los ríos Nare Grande, Guadalupe y Guatapé (línea llena) y temperaturas del Océano Pacífico en la región Niño4 (línea de puntos). Anomalías estandarizadas del período 1959-1994

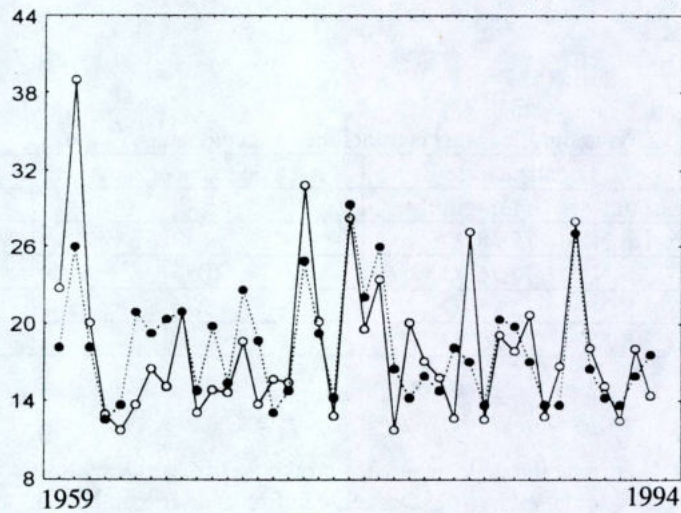


Figura 2.- Caudal (m3/seg) del trimestre Enero-Marzo observado en el río Nare (línea llena) y calculado (línea de puntos) mediante la regresión con las temperaturas del Océano Pacífico en la región Niño4 durante el mes de Enero. El período analizado es 1959-1994.

## **PREDICCIÓN DE CAUDALES PARA PLANEAMIENTO DE LA OPERACION EN LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE PAUTE Y AGOYAN EN EL ECUADOR**

Winston M. VILLAGOMEZ DEL POZO

Unidad de Hidrología Operativa, Instituto Ecuatoriano de Electrificación  
Quito, Ecuador

El uso de modelos de circulación general de la atmósfera han aportado al conocimiento de la atmósfera tropical. Estas investigaciones indican que las interacciones de la atmósfera con el océano y tal vez con la tierra pueden ser más importantes para la variabilidad interanual de la atmósfera en los trópicos que en las tierras tropicales. Partiendo de esta premisa muchos investigadores han realizado estudios estadísticos para predecir lluvias estacionales en algunas regiones tropicales a partir de variables meteorológicas de períodos anteriores a dichas lluvias como son, presión media del nivel del mar, temperaturas de la superficie del mar, valores zonales y meridionales medios de vientos de superficie y valores de radiación de onda larga, entre otros. (Ropeleswski y Halpert, 1987 y 1989).

También, en los últimos años se han hecho estudios de predicción de caudales en regiones tropicales con resultados predecibles a partir del ENOS (El Niño/ Oscilación del Sur), y también a partir de las temperaturas de la superficie del mar en el Pacífico Ecuatorial. (Aceituno y Vidal, 1990; Montecinos y Gerreaud, 1994).

El objetivo de este estudio es encontrar alguna señal determinística asociada a las temperaturas de la superficie del mar y al fenómeno ENOS con los caudales y poder utilizarla como variable de pronóstico.

La República del Ecuador se encuentra en la América del Sur entre aproximadamente  $1^{\circ} 30' N$  y  $5^{\circ} S$  y entre  $72^{\circ} O$  y  $81^{\circ} O$ , por lo que está situada en la región ecuatorial y por lo tanto debemos pensar que estará influenciada por los fenómenos atmosféricos que se desarrollan en el Océano Pacífico Ecuatorial.

El INECEL, Instituto Ecuatoriano de Electrificación, es la entidad estatal encargada de generar y transmitir la energía eléctrica a los centros de consumo para su distribución por venta a las Empresas Eléctricas regionales. El INECEL cuenta con tres centrales hidroeléctricas localizadas en la zona central y sur del país en la sierra ecuatoriana y en ellas se producen más del 70% de la generación del país y son: Pisayambo (70 Mw), Agoyan (156 Mw) y Paute (1075 Mw). Cuenta además con plantas térmicas que cubren la demanda pico y sobre todo en los períodos de estiaje de caudales.

A través de su Dirección de Operación del Sistema Nacional Interconectado se realiza la planeación hidroeléctrica y térmica para el año calendario y se lo hace en base a los datos de caudales observados y que han sido registrados en la entrada a los embalses con un registro histórico de 30 años. Se ha empleado la metodología de Box y Jenkins utilizando los modelos ARMA que mejor se ajusten y con un rezago de un mes.

Las cuencas hidrográficas que aportan el caudal a las centrales están ubicadas dentro de los  $0^{\circ} 40' S$  y  $3^{\circ} 20' S$  y entre los  $78^{\circ} 20' O$  y  $79^{\circ} 20' O$ . En estas cuencas se tiene una variabilidad espacial y temporal de lluvia que incide directamente en la producción de caudales. Esta variabilidad mensual está relacionada con los diferentes sistemas atmosféricos que causan la lluvia sobre la región. Estos son: la posición de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y su trayectoria, la Vaguada del Sur y finalmente el sistema oceánico con las corrientes marinas de Humbolt (fría) y del Golfo (cálida).

Los datos de las series estandarizadas de anomalías de caudales mensuales usadas en este estudio están basadas en series de enero a diciembre para el río Paute (1964-1994) y para la presa de Agoyan (1963-1994). Los datos de las series estandarizadas de anomalías de temperatura de la superficie del mar utilizadas en este estudio están basadas en 3 series desde enero a diciembre para 1949-1994, y corresponden a las zonas del Océano Pacífico Ecuatorial que se les ha denominado Niño1+2 (entre los  $0^{\circ} S$  y  $10^{\circ} S$ , y entre los  $80^{\circ} O$  y  $90^{\circ} O$ ), Niño3 (entre los  $5^{\circ} N$  y  $5^{\circ} S$  y entre los  $90^{\circ} O$  y  $150^{\circ} O$ ), y finalmente Niño4 (entre los  $5^{\circ} N$  y  $5^{\circ} S$  y entre los  $150^{\circ} O$  y  $160^{\circ} E$ ). Los datos de la serie estandarizada de anomalías de la presión al nivel del mar expresadas como un índice que es la diferencia entre las

presiones observadas en dos estaciones de medida ubicadas en Tahití y Darwin se ha convenido en denominar el Índice de Oscilación del Sur (IOS). Esta serie tiene igual período que las de temperatura. Adicionalmente cuando el IOS es menor que cero, se tienen eventos cálidos y se llaman eventos Niño, caso contrario, si el IOS es mayor que cero, los eventos son fríos y se denominan Niña. Estos eventos toman así el nombre de eventos ENOS.

La técnica empleada ha sido utilizar el procedimiento de Análisis de Regresión Simple. Se han calculado coeficientes de correlación, se ha hecho una validación cruzada con la prueba de significancia del Local Skill. Esta metodología ha utilizado como predictores las anomalías de las series de temperatura: Niño1+2, Niño3, Niño4 y de presión, IOS y como predictando las anomalías de las series de caudales de Paute y Agoyan en su orden.

Los resultados preliminares del estudio indican que existe una relación entre las temperaturas de la superficie del mar y los caudales y se resume en los coeficientes de correlación encontrados al realizar la regresión del mes anterior del predictor con el mes actual y posteriores a este del predictando que se muestran en las Tablas 1 y 2. Para el mes de enero del predictor y para el mes de julio del predictando se obtuvieron los valores más altos de correlación y con ellos se realizaron las validaciones cruzadas para el período estudiado obteniéndose las series calculadas, como se indican en las Figuras 1 y 2. Al comprobar el grado de significación del Local Skill se obtuvieron los valores más altos para Paute con el Niño3 (58.06 %) y para Agoyan con el Niño4 (53.12 %).

El propósito de estos estudios es que una vez determinada la relación entre los datos de temperatura observados en cualquiera de las zonas del Océano Pacífico Ecuatorial y los caudales de Paute y de la presa de Agoyan hacer una predicción a futuro de dichos caudales a nivel mensual con una proyección hasta 12 y 18 meses.

## CONCLUSIONES

Existe una fuerte relación entre las temperaturas observadas para varios meses en las zonas del Pacífico Ecuatorial con los caudales de los ríos de la región central y sur de la Sierra Ecuatoriana.

Las relaciones encontradas con las TSM en la región Niño3 para el mes de enero y los caudales en el río Paute en el mes de Julio, y con las TSM en la región Niño4 y los caudales de la presa Agoyan en el mes de julio, son buenas y con correlaciones superiores a 0.60.

Los resultados de estas correlaciones simples indican que es una buena metodología para un análisis preliminar de este tipo y que señala un punto de partida para ubicar los meses o períodos que pueden estar correlacionados.

En el futuro se trabajará en base a estudios de correlaciones bimensuales entre los 4 predictores y los dos predictandos; correlaciones trimestrales entre los mismos predictores y los predictandos; correlaciones semestrales entre los predictores con los predictandos considerando solamente el período noviembre-abril de influencia de la corriente cálida del Golfo a las costas ecuatorianas.

## REFERENCIAS

Aceituno P. y F. Vidal, 1990: Variabilidad Interanual de los caudales de los ríos andinos en Chile Central en relación a la Temperatura de superficie del Mar en el Pacífico Central. Rev.Soc. Chilena de Ing. Hidráulica. 5, 1-17.

Montecinos A. y R. Garreaud, 1994: Pronóstico Estacional del régimen fluviométrico en Chile Central. Trabajo presentado en el XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Santiago Chile. Nov. 1994.

Ropelewski C. F. and M.S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/ Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev. 115, 1606 - 1626.

Ropelewski C. F. and M.S. Halpert, 1989: Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. J. Climate. 2, 268 - 284.

Tabla 1.- Coeficientes de correlación entre las TSM y los caudales.

Predictor: Niño3 - Predictando: Río Paute											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
FEB	0.25										
MAR	0.04	0.01									
ABR	0.29	0.25	0.29								
MAY	0.07	0.06	0.03	0.03							
JUN	0.23	0.22	0.25	0.24	0.22						
JUL	0.73	0.69	0.63	0.41	0.26	0.06					
AGO	0.13	0.24	0.36	0.35	0.35	0.28	0.27				
SEP	0.05	0.16	0.17	0.21	0.24	0.16	0.13	0.13			
OCT	0.12	0.17	0.22	0.18	0.25	0.20	0.19	0.16	0.22		
NOV	0.20	0.22	0.15	0.01	0.07	0.12	0.06	0.09	0.06	0.09	
DIC	0.09	0.14	0.22	0.33	0.35	0.24	0.08	0.33	0.37	0.42	0.40
Predictor: Niño4 - Predictando: Presa Agoyan											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
FEB	0.07										
MAR	0.04	0.05									
ABR	0.42	0.41	0.42								
MAY	0.20	0.21	0.19	0.16							
JUN	0.47	0.42	0.54	0.30	0.34						
JUL	0.63	0.59	0.57	0.40	0.39	0.30					
AGO	0.27	0.23	0.30	0.09	0.20	0.20	0.31				
SEP	0.05	0.03	0.24	0.09	0.16	0.14	0.30	0.37			
OCT	0.40	0.40	0.46	0.48	0.45	0.36	0.57	0.57	0.54		
NOV	0.37	0.33	0.38	0.26	0.25	0.19	0.28	0.23	0.25	0.19	
DIC	0.24	0.20	0.03	0.02	0.07	0.11	0.10	0.19	0.19	0.17	0.17

Tabla 2.- Resultados del análisis de regresión y de validación cruzada

	Caudal Observado			Caudal Calculado		
	Coef. Corr.	Valor Fo	Slope	Coef. Corr.	Local Skill	Signif.
Predictor: mes de enero - Predictando: Caudal río Paute mes de julio						
Niño1+2	0.55	19.36	-0.54	0.47	41.94	0.95
Niño3	0.73	50.67	-0.73	0.69	58.06	1.00
Niño4	0.70	42.19	-0.70	0.64	38.71	0.95
SOI	0.72	48.38	0.51	0.68	64.52	1.00
Predictor: mes de enero - Predictando: Caudal Presa Agoyan mes de julio						
Niño1+2	0.46	11.72	-0.45	0.36	50.00	0.98
Niño3	0.60	25.36	-0.60	0.53	40.62	0.95
Niño4	0.63	29.25	-0.63	0.57	53.12	1.00
SOI	0.55	18.64	0.38	0.51	56.25	1.00

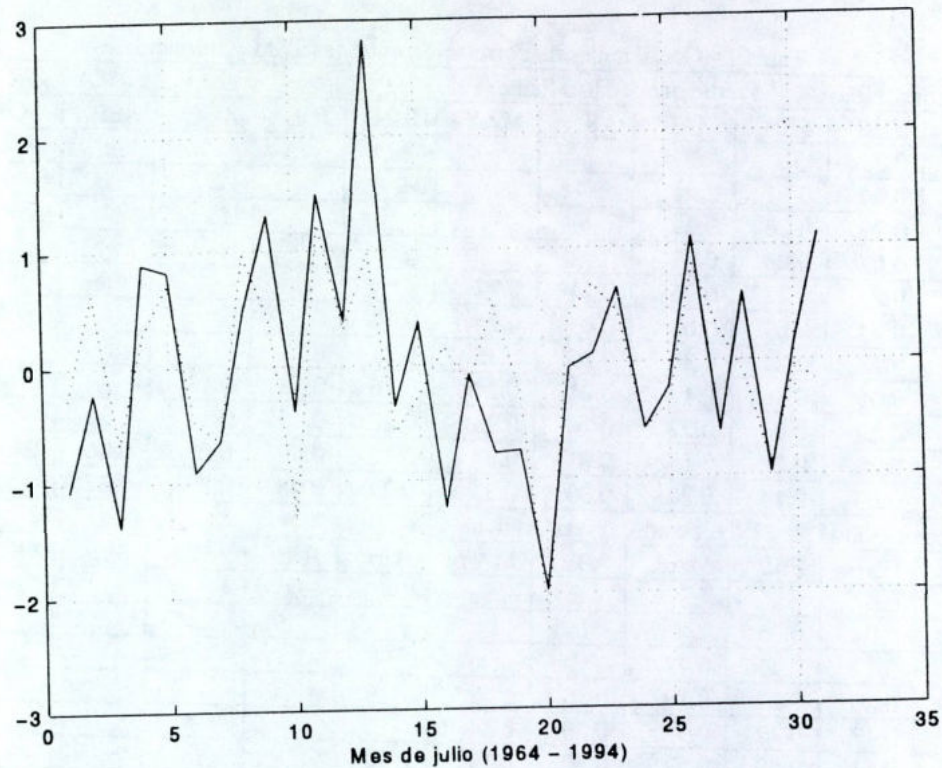


Figura 1.- Resultado de la validación cruzada del modelo de pronóstico de caudales del mes de julio en el Río Paute (línea punteada). Caudales observados (línea llena). Período: 1964 - 1994.

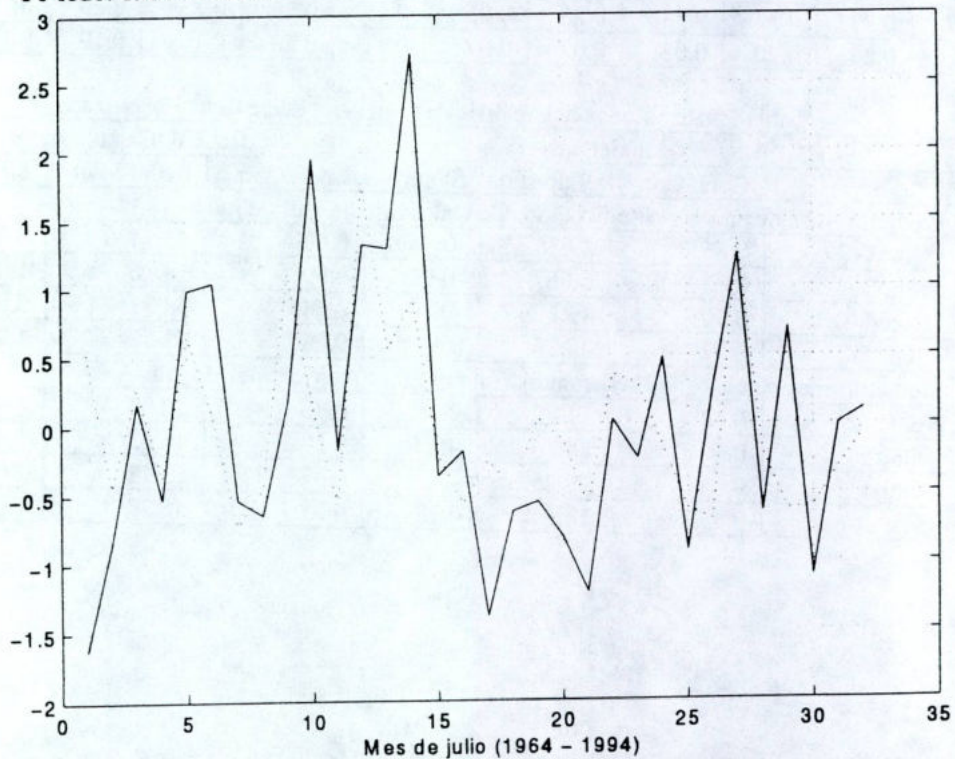


Figura 2.- Resultado de la validación cruzada del modelo de pronóstico de caudales del mes de julio en la presa Agoyan (línea punteada). Caudales observados (línea llena). Período: 1964 - 1994.

## **PRONOSTICO ESTADISTICO INTERANUAL DE PRECIPITACION PLUVIAL ACUMULADA DE VERANO E INVIERNO PARA MEXICO, UTILIZANDO TELECONEXIONES GEOFISICAS Y ASTRONOMICAS**

Jorge SANCHEZ-SESMA  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Jiutepec, México

La lluvia en México tiene una distribución espacio-temporal compleja y ha sido bien descrita en trabajos previos (1, 2). Además la Precipitación de Verano en México PVM ha sido estudiada como una parte de el proceso recientemente reconocido como el Monsoon Americano (3). Al igual que el Monsoon Asiático, aquel debería de ser una expresión de los procesos dinámicos de la atmósfera a escala global (4, 5 and 6). Además de otras influencias a diferentes escalas, los ciclones tropicales contribuyen significativamente a los procesos convectivos que han sido caracterizados recientemente para algunas partes de México (7). La Precipitación de Invierno en México PIM esta asociada a los sistemas frontales los cuales cruzan el territorio de Mexico principalmente de Oeste a Este. Esos sistemas pueden interactuar tanto con sistemas de baja presión estacionarios que se localizan en el sur de México como con la corriente de chorro subtropical en niveles medios. Adicionalmente una pluma de humedad cruza el centro y noreste de México trayendo humedad desde el Pacífico Ecuatorial centro Oeste durante la fase caliente del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) (8).

Entonces, las variaciones climáticas involucran procesos dinámicos internos y externos. Para obtener una expresión para pronosticar PVM y PIM variables geofísicas y astronómicas fueron seleccionadas y analizadas. Se obtuvo un modelo de predicción climática donde las variaciones temporales meteorológicas-oceánicas y de la trayectoria lunar fueron seleccionadas como predictores.

Utilizando datos procedentes de 341 estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, para el período 1931-1990, hemos evaluado los valores de la PVM y PIM sobre 27 regiones.

El fenómeno ENOS ha sido el evento meteorológico-oceánico-litosférico mas interesante en las últimas dos décadas. El ENOS ha mostrado una interacción compleja entre la atmósfera y el océano. Sin embargo, recientemente la ocurrencia conjunta de los eventos de Velo de Polvo Volcánico (VPV) y el ENOS sugiere una relación estrecha con los procesos litosféricos (9). Cuando el ENOS ocurre, el balance normal en el sistema océano-atmósfera se rompe y una condición anómala ocurre en todo el mundo, por ejemplo inundaciones en algunas áreas y sequías en otras, desde Australia a Brasil y Africa y desde Norte America a la India, asociadas con eventos ENOS. Como todos los países americanos, México es afectado por anomalías atmosférico-oceánicas. Existen numerosos estudios acerca de las variaciones de lluvias y escurrimientos en Norte America, algunas de ellas (9, 10 and 11) han encontrado correlaciones significativas con el Indice de la Oscilación del Sur (IOS).

En las últimas dos décadas han ocurrido más y más frecuentes y violentos ENOS. Una comparación histórica de la frecuencia del ENOS con los registros del grosor de anillos de arboles (12,13) sugiere una relación en la cual el ENOS es mas fuerte cuando este mismo es mas frecuente. Este hecho también nos sugiere periodos con condiciones favorables para generar e incrementar a los eventos ENOS. Recientemente, ciclos de larga duración asociados con el ENOS han sido reportados (13, 15 y 16). El Velo de Polvo Volcanico VPV podría haber incrementado la duración e intensidad de los últimos eventos ENOS en forma dramática. La erupción de El Chichón en abril de 1982 ocurrió justo antes de que iniciara el ENOS 1982-1983 el mas intenso del siglo. La erupción de Pinatubo en junio de 1991 también, ocurrió justo antes de que iniciara el ENOS 1991-1995 el más largo del siglo.

La influencia lunar sobre el ambiente ha sido conocida por muchos años (17). Así como la luna produce una marea oceánica, ella también produce una atmosférica. En el folklore del campo, se supone que los patrones de lluvia siguen el ritmode la luna. La influencia específica del período de translación lunar sobre la ocurrencia de la lluvia ha sido demostrada estadísticamente (17). Recientemente (18), una correlación entre el ciclo lunar y las variaciones globales de la temperatura ha sido encontrada.

Para propósitos de variación climática deberíamos tomar en cuenta al menos dos movimientos seculares de la luna. Uno es asociado con la revolución de la línea nodal lunar cada 18.6 años. El otro es asociado con la revolución de la línea perigeo-apogeo lunar cada 9 años. Entonces, la hipótesis propuesta es: las variaciones seculares de la trayectoria lunar podrían ser tomadas en cuenta para propósitos de variación climática, utilizando como predictores señales sinusoidales con periodos de 18.6 y 8.85 años.

Para probar esta hipótesis se estimaron, mediante regresión lineal múltiple, coeficientes de correlación para dos conjuntos diferentes de predictores. Uno con todos los predictores incluyendo las funciones sinusoidales lunares, conjunto "lunar", (IOS, índices Niño + sinusoides lunares), y otro con todos los predictores del primer conjunto pero sin incluir a las funciones sinusoidales conjunto "no lunar", (IOS e índices Niño).

Los resultados obtenidos con el conjunto de predictores "lunar" resultó mejor que los obtenidos con el conjunto "no lunar". En la tabla siguiente se muestran los coeficientes de correlación medios para el verano e invierno utilizando los dos conjuntos de predictores:

	lunar	no lunar
verano	0.521	0.379
invierno	0.535	0.424

Se encontró una relación lineal entre los valores regionales de variables atmosféricas y oceánicas del ENOS, del movimiento lunar y los PIM y PVM. Encontramos que los valores regionales de PVM y PIM podrían ser pronosticados como funciones lineales del ENOS y de las componentes periódicas asociadas al movimiento lunar.

La Figura 1 (Figura 2) muestra los valores medidos y estimados del PVM (PIM) de 2 regiones con las mejores correlaciones. Los coeficientes de correlación entre los valores observados y los obtenidos mediante el modelo para la PVM (PIM) de todas las 27 regiones se presentan en la Figura 3 (Figura 4).

Para comparar y verificar los resultados obtenidos para la lluvia, se procesaron los escurrimientos de 9 ríos en México. Los resultados obtenidos para los escurrimientos fueron mejores que los obtenidos para la lluvia. Las características de los resultados obtenidos para los escurrimientos son similares a los de la lluvia, los coeficientes de correlación son mayores en invierno. En la tabla siguiente se muestran los coeficientes de correlación medios, obtenidos para predecir escurrimientos y lluvia tanto de verano como de invierno.

	escurrimiento	lluvia
verano	0.482	0.340
invierno	0.492	0.410

## CONCLUSIONES

Se ha mostrado una relación entre las PVM y PIM con las variaciones del ENOS y de la luna. Una hipótesis para incluir las variaciones de la trayectoria lunar en el pronóstico del clima ha sido propuesta y probada.

## REFERENCIAS

1. Mosiño, P. y García, E., 1973. "The climate of México". *Climates of North America*, R.A. Bryson and F.K. Hare Eds., World Survey of Climatology 11. Elsevier, Netherlands.
2. Jáuregui, E., 1979. "Algunos aspectos de las fluctuaciones pluviométricas en México en los últimos cien años". *Boletín de Geografía, UNAM*, 39-63.
3. Murakami, T., Wang B., and Lyons S.W., Contrasts between Monsoons over Bay of Bengal and the Eastern North Pacific, *Journal of Meteor Society of Japan*. v 70, n 1, 191-209
4. Gribbin, J., 1986. *EL Clima Futuro*. Salvat, Barcelona. 5. Flohn, H., 1968. "Clima y Tiempo". Edit. Guadarrama, Madrid. 6. Rognon, P., 1983. "Las crisis climáticas". *Mundo Científico (La Recherche in Spanish)*, 2(11): 200-212.
7. Latorre C. y Penilla L., 1988. "Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. *Atmosfera*, 1.
8. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) is a complex coupled geophysical phenomena manifested as variations of the oceanic and atmospheric kinematic and thermodynamic characteristics. The oceanic and atmospheric processes are partially represented with El Niño (EN) and Southern Oscillation (SO), respectively. EN is a thermal positive

anomaly in west central Pacific Ocean area. SO is a pressure difference between two sites located in southern Pacific, Darwin and Tahiti.

9. Acosta, A.G., 1988. El Niño: sus efectos sobre el norte de México. *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol III, No. 1, II época, 13-29.
10. Mosiño P.A. y T. Morales, 1988. Los ciclones tropicales El Niño y las lluvias en Tacubaya, D.F. México. *Geofísica Internacionall*, v27, n1, p61- 82.
11. Cayan D.R. and Webb R.H., 1992. El Niño/Southern Oscillation and streamflow in the western United States. In Diaz H.F. and Markgraf V. (eds), *El Niño Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press. 29-68.
12. Michaelson, J., 1989: Long-period fluctuation in El Niño amplitude and frequency reconstructed from tree rings. In Peterson, D.H. (ed), *Aspects of Climate Variability in the Pacific and Western Americas*. Geophysical Monograph 55. AGU. 69.
13. Anderson, R.Y., 1990. Solar-cycle modulations of ENSO: a mechanism for Pacific and global climate change. In Betancourt, J.L. and MacKay, A.M.(eds), *Proceedings, Sixth Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop*, march 5-8, 1989. California Department of Water Resources, Interagency Ecological studies Program Technical Report 23, 77-81
14. Quinn W.H., 1992: A study of Southern Oscillation related climatic activity for 622-1990 incorporating Nilo River flood data. In Diaz H.F. and Markgraf V. (eds), *El Niño Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press. 119-150
15. Fairbridge, R.W., 1984. The Nile flood as a global climate/solar proxy. In Morner, A. and Karlén, W.(eds), *Climatic Changes on a yearly to Millennial Basis*. Dordrecht, Reidel, 181-190.
16. Halfman, J.D. and Johnson, T.C., 1988. High resolution record of cyclic climatic change during the past 4ka from lake Turkana, Kenya. *Geology*, v16, 496-500.
17. Bradley, D.A., Woodbury, M.A. and Brier, G.W., 1962. *Science*, v 137, 748.
18. Balling, R.C., and Cerveny, R.S., 1995. Influences of lunar phase on daily global temperatures, *Science*, v 267, 1481.

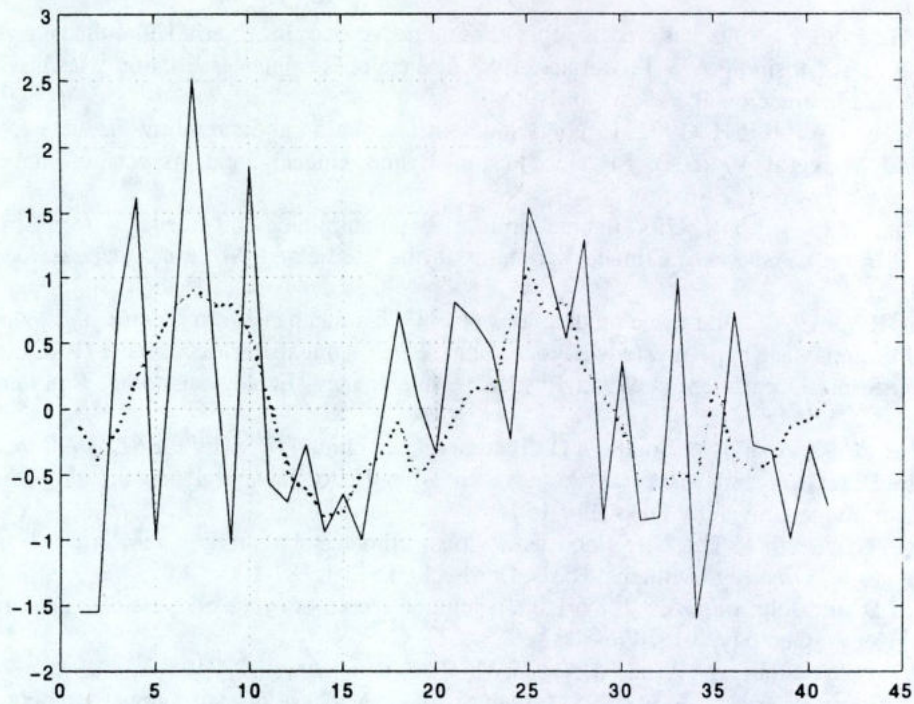


Figura 1.- Valores observados (línea llena) y valores calculados (línea de puntos) de la precipitación de verano en México, como promedio de dos regiones diferentes.

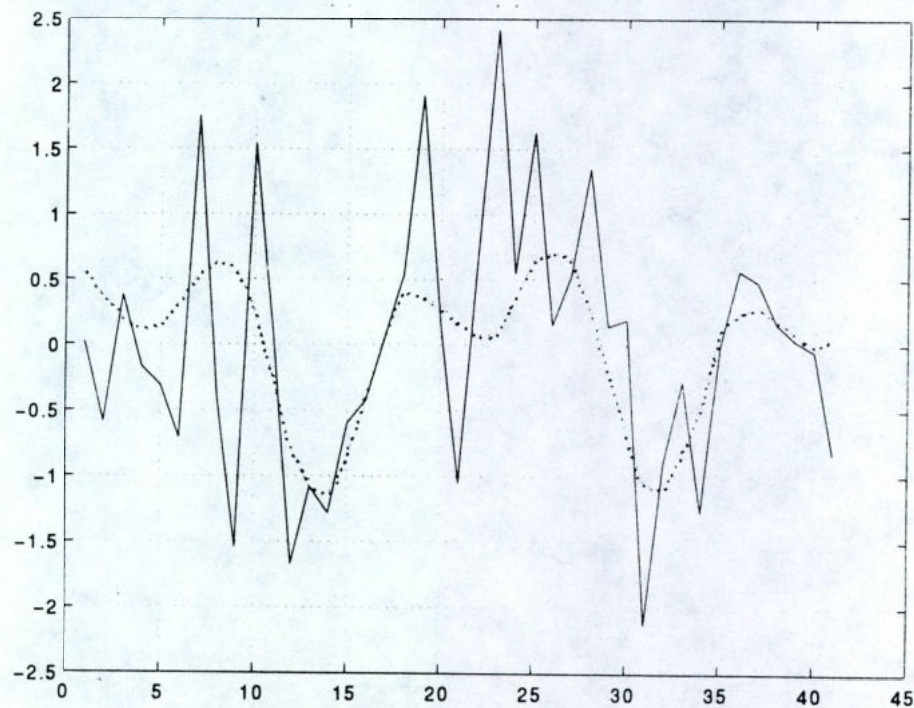


Figura 2.- Valores observados (línea llena) y valores calculados (línea de puntos) de la precipitación de invierno en México, como promedio de dos regiones diferentes.

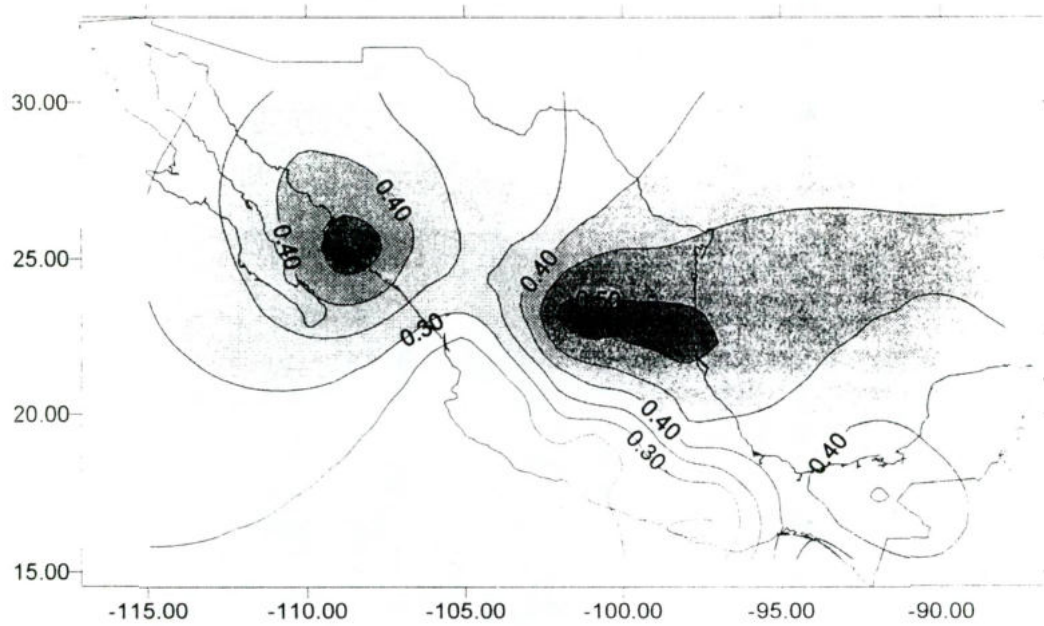


Figura 3.- Coeficientes de correlación entre los valores observados y los obtenidos mediante el modelo, para la precipitación de verano en México en las 27 regiones.

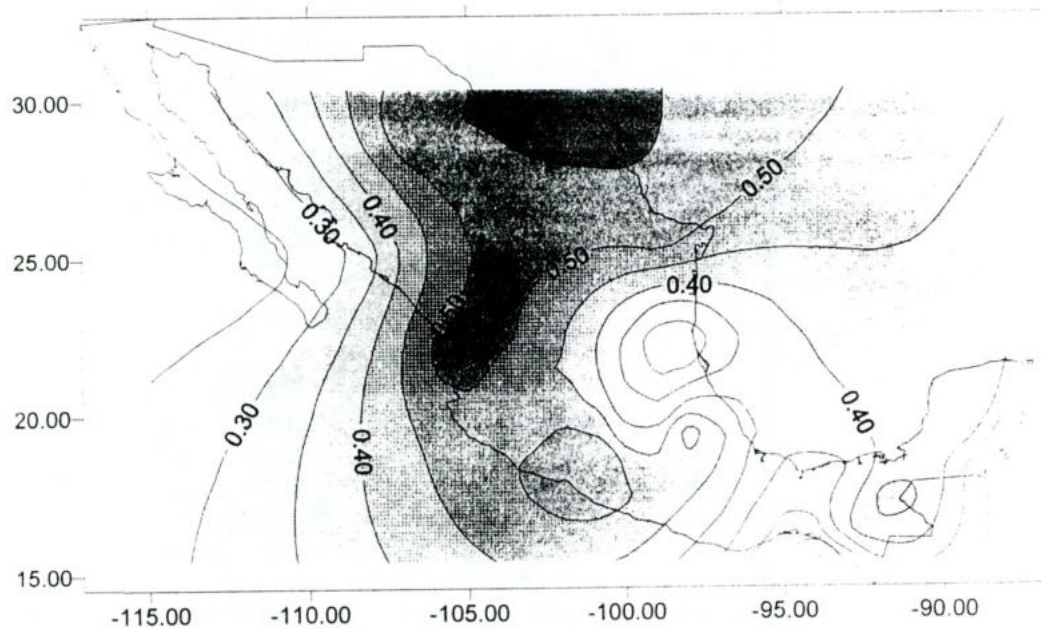


Figura 4.- Coeficientes de correlación entre los valores observados y los obtenidos mediante el modelo, para la precipitación de invierno en México en las 27 regiones.

## **ESTUDIO PRELIMINAR ACERCA DEL NIÑO Y SU INFLUENCIA EN LA PREDICCIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RIO CHIRIQUI**

Abril MENDEZ

Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, Departamento de Hidrometeorología  
Panamá, República de Panamá.

El objetivo de esta trabajo es el de una aproximación a la predicción de caudales estableciendo relaciones entre la variación de las temperaturas de la superficie del Océano Pacífico y Atlántico con los caudales medios mensuales de la estación Chiriquí Interamericana y Chiriquí Hornitos.

La cuenca del río Chiriquí se encuentra situada al oeste de la República de Panamá y en la vertiente del Pacífico. Posee un área de drenaje de 1995 Km<sup>2</sup> y una elevación media de 270 m sobre nmm. Consta de una red hidrometeorológica caracterizada por la existencia de 24 estaciones meteorológicas y 11 estaciones de medición de caudal. Esta cuenca posee una importancia mayor no sólo desde el punto de vista de las actividades agropecuarias que en ella se desarrollan, sino también por la existencia de dos de los principales sistemas hidroeléctricos del país (Fortuna y Estrella-Los Valles) que producen el 60% del total de la energía hidroeléctrica a nivel nacional. La cuenca presenta una precipitación media de 4,124 mm y temperaturas de 23.25°C. La escurrentía media anual es de 2954.1 mm y el coeficiente de escurrentía es de 0.75.

El disponer de cantidades suficientes de agua que aseguren el desarrollo de las tareas de riego, uso doméstico y generación eléctrica, es de vital importancia para el país; de allí que el poder estudiar el comportamiento de régimen hidrológico frente a importantes eventos de orden global tal como la variabilidad climática del Pacífico ecuatorial (Fenómeno del Niño) y del Atlántico, quienes influyen decisivamente en el cambio de los regímenes de lluvia y por ende de escurrentía, es de interés ya que puede aproximarnos a la predicción hidrológica en períodos cortos.

Los caudales medidos en las estaciones Chiriquí Interamericana y Chiriquí Hornitos presentan una distribución mensual muy diferente, mientras que en el primero se evidencia una clara definición entre los períodos secos y lluviosos, en la segunda situada en la proximidad a la cordillera central y a la divisoria de aguas entre el Atlántico y el Pacífico, se presenta una distribución casi homogénea durante todo el año. Esta misma característica se nota en el régimen de las lluvias, lo cual podría indicar la existencia de un sistema hidro-climático diferente, muy posiblemente influenciado por la actividad climática del Atlántico.

Este estudio pretende aproximarnos a conocer las relaciones entre el comportamiento de los sistemas hidrológicos y las variaciones observadas en la atmósfera y océanos ecuatoriales, por lo que podrá servir para incentivar a estudios posteriores referentes al tema.

Para dar inicio a este estudio fue necesario disponer de series de datos mensuales de caudal y temperaturas del Océano Pacífico y el Atlántico. Haciendo uso del programa Climlab (Laboratorio Climático, versión para Windows de junio de 1995) proporcionado por el IRICP, fue posible la estimación rápida de las anomalías de temperaturas del mar para cada una de las áreas del Pacífico (Niño1+2, Niño3 y Niño4) y de una región del Caribe comprendida entre los 0° y 20° N y los 60°O y 90°O, que llamaremos de ahora en más Atlántico. También se utilizó el mismo programa para calcular las anomalías de los caudales registrados en las estaciones Chiriquí Interamericana y Chiriquí Hornitos.

Se graficaron las anomalías de cada una de las regiones Niño y la temperatura del Atlántico con los caudales de las dos estaciones en estudio, utilizando promedios móviles a intervalo de 3 meses. Con los mismos archivos de anomalías mensuales se aplicaron autocorrelaciones a los datos de caudal con el fin de verificar la memoria de los sistemas.

Se realizaron correlaciones cruzadas entre las temperaturas del mar y los caudales para observar los valores y la tendencia de los coeficientes de correlación, además de determinar los rezagos entre las series. Este método estadístico se usó también para determinar la relación entre las temperaturas del Pacífico (regiones Niño) y la del Atlántico.

Tomando en cuenta los meses con mayores caudales Nov-Dic- Ene para Hornitos y Sep-Oct-Nov para Interamericana; se agruparon los datos de temperaturas y caudales trimestralmente de forma tal que se pudiesen detectar mejores relaciones que a su vez nos aproximarán a la obtención de una ecuación lineal aceptable para la predicción. De esta forma se efectuaron regresiones simples y múltiples.

Al analizar los promedios móviles de las anomalías de caudal, en las cuencas de Chiriquí Interamericana y Chiriquí Hornitos, con las temperaturas del Atlántico y de la región Niño1+2, se encontró una relación inversa entre las series, en todos los casos. Lo que indica que para cada evento de anomalía positiva de las temperaturas del Pacífico se presenta una anomalía negativa en los caudales, en ambas estaciones.

La autocorrelación de los caudales medios mensuales de la estación Chiriquí Hornitos indica que los porcentajes de diferencia entre las correlaciones para un rezago de uno a dos meses es muy bajo (0.6%), con respecto al encontrado para el caso de Chiriquí Interamericana el cual alcanza para este mismo rezago un 23% de diferencia entre las correlaciones.

En las correlaciones cruzadas se encontró que los coeficientes de correlación para los datos mensuales eran muy bajos y negativos, no superiores a -0.335 en Hornitos y no superiores a -0.360 en Interamericana. En cuanto a los rezagos observados, éstos no van más allá de 1 mes en ninguna de las estaciones (Tabla 1). De las correlaciones cruzadas entre los índices Niño1+2, Niño3 y Niño4 con las temperaturas del Atlántico estimadas para la región del Caribe comprendida entre los 0° y 20°N y 90°O y 60°O, se encontraron correlaciones positivas y altas.

Tomando en cuenta que mensualmente no se presentaban correlaciones cruzadas significativas se procedió a agrupar trimestralmente los datos tomando como referencia los meses con caudales más altos: noviembre, diciembre y enero para Hornitos y septiembre, octubre y noviembre para Interamericana. Siguiendo este criterio para cada subcuenca se agruparon los datos de temperatura de los Océanos Pacífico y Atlántico en 4 trimestres:

- para la Sub cuenca de Hornitos se utilizó: NDE, ASO, MJJ y FMA.
- para la Sub cuenca Interamericana se utilizó: DEF, MAM, JJA y SON.

Con estos trimestre se efectuaron regresiones simples en las que se obtuvo para la subcuenca del río Chiriquí hasta Hornitos una correlación mayor (0.66) con el trimestre agosto-septiembre-octubre del Niño4 y en la cuenca del Río Chiriquí hasta Interamericana una correlación de 0.65 con el trimestre de temperaturas del Niño3 junio-julio-agosto. La Tabla 2 muestra en detalle los resultados obtenidos.

Con los mismos trimestres se efectuaron regresiones múltiples en los que se llegó a integrar aquellos grupos trimestrales con mayor significancia obteniéndose las ecuaciones lineales que relacionan de mejor forma los parámetros.

En la Sub Cuenca del río Chiriquí hasta Hornitos fue clara la alta significancia del trimestre Ago-Sep-Oct, inmediatamente anterior al trimestre pronosticado Nov-Dic-Ene. Las anomalías de temperatura del Niño4 y del Atlántico se destacaron como las más influyentes. La comparación entre las observaciones y el resultado del modelo en el Caso 1 se muestra en la Figura 1.

Caso 1:  $Q = -0.933 N4(ASO) + 0.789 AT(ASO) + 0.674 Q(ASO) + 0.069$   
R = 0.74      Fo (3.14) = 5.89

Caso 2:  $Q = -0.430528 N4(ASO) - 0.002065$   
R = 0.52      Fo (1.16) = 5.91

En la subcuenca del río Chiriquí hasta Interamericana se pronosticó el trimestre Sep-Oct-Nov, en cuyo caso quedó claramente establecida la mayor significancia del trimestre anterior (Jun-Jul-Ago) y la influencia de las temperaturas de la región Niño3. La comparación entre las observaciones y el resultado del modelo en el Caso 2 se muestra en la Figura 2.

Caso 1:  $Q = -0.5091 N3(JJA) + 0.020501$   
 $R = 0.647$   $Fo (1.37) = 26.67$

Caso 2:  $Q = -0.3125 N3(JJA) + 0.3443 Q(JJA) + 0.0043$   
 $R = 0.70$   $Fo (2.36) = 17.21$

## CONCLUSIONES

Existe una relación inversa entre las anomalías de temperaturas del mar (Atlántico y Pacífico) y las anomalías de los caudales medios mensuales de las estaciones Chiriquí Interamericana y Chiriquí Hornito.

La significativa memoria de los dos sistemas hídricos estudiados, expresados en las autocorrelaciones de las anomalías de caudal, permite considerarlos como parte de las variables de predicción. Los rezagos de hasta aproximadamente 1 mes, encontrados con las correlaciones cruzadas efectuadas con datos mensuales, indican una rápida respuesta de la cuenca a las variaciones de la temperatura del Pacífico y el Atlántico.

Existe una alta correspondencia positiva entre las anomalías de temperaturas de las regiones Niño del Pacífico y la del Atlántico promediada en la región comprendida entre los 0° y 20°N y 90°O y 60°O. Las anomalías de temperatura del Pacífico Ecuatorial referidas a las áreas conocidas como Niño4 y Niño3 son las que mejor se relacionan con las anomalías de caudales registrados en las estaciones Chiriquí Hornitos y Chiriquí Interamericana respectivamente.

Este estudio es un primer paso en el estudio de relación o influencia que tiene el Niño en el comportamiento de los sistemas hidrológicos en Panamá. Se recomienda en primer lugar efectuar un estudio más detallado que incluya el análisis de cuencas del Océano Atlántico, cuencas con comportamientos bien definidos en períodos secos (caso del río La Villa), análisis de series trimestrales consecutivas, análisis regional en períodos de sequía y estudios más integradores en los que también se incluyan otros elementos que intervienen en el comportamiento de los sistemas hídricos tales como la temperatura y la precipitación. Finalmente creemos de gran interés agregar un estudio en el que se contemple el SOI.

Tabla 1.- Correlación entre caudales y las TSM en los Océanos Pacífico y Atlántico.

Caudales	Temperaturas	Coef. Corr. Máximo	Rezago
Chiriquí Hornitos	N12	-0.335	1 mes
	N3	-0.308	0 mes
	N4	-0.309	0 mes
	Atlántico	-0.333	0 mes
Chiriquí Interamericana	N12	-0.342	1 mes
	N3	-0.360	2 meses
	N4	-0.267	1 mes
	Atlántico	-0.264	0 mes

Tabla 2.- Correlación de los caudales con los índices Niño1+2, Niño3, Niño4 y las TSM del Atlántico.

Sub Cuenca Chiriquí Hasta Hornitos		
Caudal Trimestre	Temperaturas Trimestre	Coefficiente de Correlación
NDE		
N4	ASO	0.66
ATL	ASO	0.59
N3	NDE	0.55
Sub Cuenca Chiriquí hasta Interamericana		
Caudal Trimestre	Temperaturas Trimestre	Coefficiente de Correlación
SON		
N3	JJA	0.65
N4	JJA	0.59

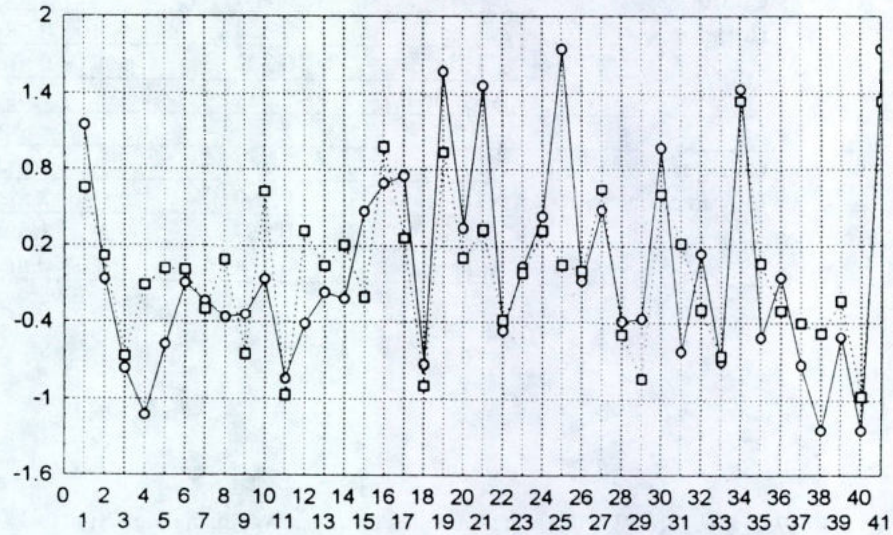


Figura 1.- Anomalías estandarizadas de los caudales observados (línea llena) en el río Chiriquí estación Hornitos y caudales calculados (línea de puntos) en el trimestre Nov-Dic-Ene. Período: 1955-1994.

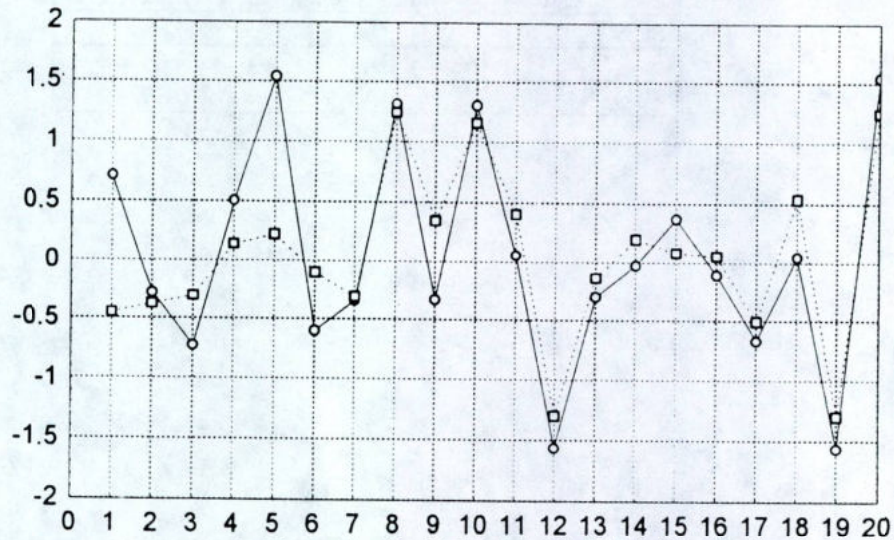


Figura 2.- Anomalías estandarizadas de los caudales observados (línea llena) en el río Chiriquí estación Interamericana y caudales calculados (línea de puntos) en el trimestre Set-Oct-Nov. El período analizado es 1955-1994.

## **INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE LOS CICLOS DEL ENOS Y LOS CAUDALES PROVENIENTES DE LOS GLACIARES DE LA CORDILLERA BLANCA DE LOS ANDES PERUANOS**

César PORTOCARRERO RODRIGUEZ  
Unidad de Glaciología, Electroperú S.A.  
Huaraz, Perú

En el Perú, los caudales de los ríos se rigen exclusivamente por la precipitación en la época húmeda y de los deshielos de los glaciares en la época de estío, a menos que haya obras de regulación en los cauces de algunos ríos como ocurre en ríos de la costa como el río Tumbes, Piura, Chancay, Majes, etc. Sin embargo en otros casos en los que no se tienen reservorios u obras de regulación en forma integral es decir que satisfagan o abarquen los déficits de la época seca, tal como el río Santa, entonces deben abastecerse exclusivamente de los deshielos.

La época de ablación o pérdida en los glaciares peruanos que en general podríamos denominar como tropicales, se lleva a cabo durante todo el año, aumentando en cantidad naturalmente durante el verano austral en que las temperaturas se incrementan. Siempre durante la época del verano también es conveniente diferenciar dos momentos en los cuales el deshielo se realiza de diferente manera; uno de ellos corresponde al lapso de tiempo comprendido entre los meses de octubre y diciembre o inicio de febrero y el otro desde mediados de enero hasta la culminación de la época de verano cercana a abril. Esta diferenciación de magnitudes de deshielo es importante porque ello nos permite conocer por un lado la cantidad de deshielo que ocurre y por otra parte conociendo esta cantidad o caudal de deshielo que constituye agua limpia exenta de sedimentos podemos aplicarlo al uso del agua en la producción de energía eléctrica.

Conviene también mencionar como antecedente de este trabajo que el período comprendido entre los meses de octubre a diciembre por la gran incidencia de la radiación sobre la superficie de los glaciares y la elevación de la temperatura del medio ambiente, también origina como es obvio una mayor deglaciación

Conociéndose desde un punto de vista físico lo que viene ocurriendo con el deshielo o deglaciación de las masas de hielo, este trabajo trata de relacionar dicho fenómeno con las anomalías del ENOS ( El Niño/ Oscilación del Sur). Dicho de otro modo. cuánto inciden las anomalías del fenómeno ENOS en la mayor o menor escurrentía procedente de los glaciares de la Cordillera Blanca en el norte medio del Perú.

La Cordillera Blanca es un sector de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos que se halla ubicada entre las latitudes 8°S y 10° S, y 69°O y 78° O, teniendo una longitud cercana a los 180 Km. y un área glaciaria aproximada de 700 km<sup>2</sup>. Geográficamente corresponde a la Región Chavín en el norte medio del país. Todas las aguas que drenan del área glaciaria en el sector occidental se orientan indefectiblemente hacia el río Santa, el cual luego de un trayecto de 310 km entrega las aguas hacia el Océano Pacífico, teniendo una cuenca de aproximadamente 15,000 Km<sup>2</sup>. y con un caudal promedio anual de aproximadamente 160 m<sup>3</sup>/seg. Sin embargo este caudal promedio no refleja realmente lo que ocurre anualmente en la cuenca pues de los aproximadamente 5 mil millones de metros cúbicos que se entregan anualmente al océano, el 80% corresponde a los meses húmedos o sea entre mediados de diciembre y mediados de abril y el saldo restante corresponde a los ocho meses restantes.

Nor circunscribiremos exclusivamente a la cuenca del río Querococha cuyas aguas provienen del glaciar Yanamarey y de donde se han extraído los datos hidrométricos y meteorológicos. El objetivo fundamental del estudio es determinar cual es la influencia de las anomalías del fenómeno ENOS en la variabilidad de caudales procedentes de los glaciares de la Cordillera Blanca.

Mencionamos como aspecto general la variación del retroceso del glaciar Yanamarey desde 1973 hasta 1992. Tenemos que de un retroceso anual de 12 metros anuales hasta 1980, se ha incrementado a 18 metros anuales a partir de dicha fecha. De igual manera el balance de masas de ablación o pérdida nos demuestra también que desde el año 1962 hasta el año 1980 fue de 140 metros de equivalente de agua.

Se ha considerado exclusivamente como ejemplo la zona donde se poseen datos tales como temperaturas máximas, temperaturas mínimas y caudales de la zona de Querococha y se ha podido establecer una relación bastante estrecha y simultánea entre las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM) en la región Niño3 del Océano Pacífico y las escorrentías que provienen del glaciar Yanamarey y que son medidas en la laguna Querococha.

Para ello se han utilizado los datos del período comprendido entre 1953 y 1992. Se realizó la correlación entre esas anomalías de TSM en Niño3 en Diciembre y los caudales procedentes del glaciar Yanamarey en los meses de Junio a Setiembre del año siguiente. Los resultados se resumen en la Tabla 1. Asimismo se ha correlacionado mensualmente las anomalías del Niño3 de Setiembre a Noviembre con los caudales tres meses después. Estos resultados se muestran en la Tabla 2.

La relación que se ha hallado entre las anomalías del Niño3 y los caudales efluentes del glaciar Yanamarey medidos en el sector Querococha indican que cuando se producen fenómenos ENOS extremos, estos se reflejan directamente en los caudales efluentes del glaciar Yanamarey, especialmente en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre. Por ejemplo, la Figura 1 muestra la relación entre las anomalías de TSM en el Niño3 (línea punteada) y las anomalías de caudales en Querococha (línea llena) en el mes de Diciembre.

Las condiciones geográficas de ubicación de la Cordillera Blanca y obviamente del glaciar Yanamarey con respecto al Océano Pacífico hacen de que no siempre la respuesta ante el fenómeno ENOS sea la misma. Esto puede deberse a que la precipitación en estas regiones está condicionada al acceso de aire húmedo proveniente del Océano Pacífico.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las regresiones lineales simples efectuadas entre las anomalías de las TSM en la región denominada Niño3 y los caudales, temperaturas máximas y mínimas se ha establecido preliminarmente que existe una mejor correlación entre Niño3 y los caudales que salen del glaciar Yanamarey. Especialmente se evidencia una mejor relación durante los últimos meses del año, es decir a partir de Setiembre a Diciembre, y en algunos casos hasta Enero y Febrero.

De acuerdo a las regresiones realizadas entre Niño3 y los caudales efluentes del glaciar se aprecia una fuerte correlación entre los meses de Octubre a Febrero.

De igual manera, las series Niño3 y caudales del período 1953/92 nos permiten inferir que, en el caso de la Cordillera Blanca, la influencia en el derretimiento o fusión es bastante pronunciada fundamentalmente durante los eventos ENOS calientes o Niño de regular a gran intensidad.

Por lo tanto para los estudios de futuros represamientos en las diferentes sub-cuencas del río Santa, así como para el uso de las aguas en diferentes aspectos, es necesario profundizar el análisis de la relación entre los eventos ENOS y los caudales y demás aspectos hidrometeorológicos de la cuenca.

Tabla 1.- Correlación entre Niño3 y los caudales procedentes del glaciar Yanamarey en el año siguiente.

Niño3	Caudal	r	Std.Error	Fo
Diciembre	Junio	0.42	0.92	5.60
	Julio	0.45	0.91	6.50
	Agosto	0.42	0.92	5.67
	Septiembre	0.38	0.94	4.26
<hr/>				
Niño3	Caudal	r	Std.Error	
Setiembre	Diciembre	0.42	0.92	
Octubre	Enero	0.42	0.96	
Noviembre	Febrero	0.33	0.96	

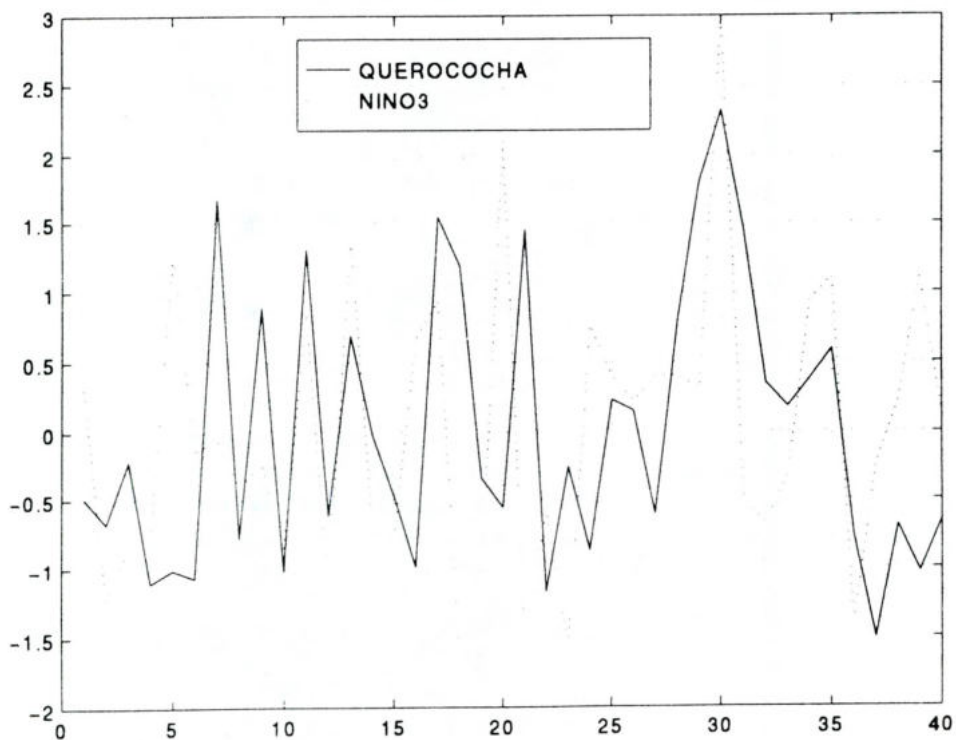


Figura 1.- TSM en la región Niño3 (línea punteada) y las anomalías de caudales provenientes del Glaciar Yanamarey en Querococha (línea llena) en el mes de Diciembre. Período: 1953-1992.

## **ESTUDIO PRELIMINAR PARA DETERMINAR LA RELACION EXISTENTE ENTRE EL NIÑO Y LOS CAUDALES DEL RIO CHIRA DE LA COSTA**

Justo SALCEDO BAQUERIZO  
Instituto Nacional de Recursos Naturales  
Lima, Perú

Para la aplicación de la parte práctica del curso se ha elegido al valle del Río Chira, ubicado en la Costa Norte del Perú, en el Departamento de Piura, por ser un valle altamente productivo y considerado dentro del grupo de los 4 valles principales con una alta incidencia en el desarrollo del país y cuenta con el reservorio más grande, y que tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 1,000,000 m<sup>3</sup>. El mismo tiene una extensión de 10,063 km<sup>2</sup> y una carga media anual de 114.48 m<sup>3</sup>/s, una superficie cultivada de 40,412 Has. y 8,000 usuarios.

A los efectos de este Estudio Preliminar se ha tomado en cuenta la serie histórica de los caudales desde el año 1960 hasta el año de 1994, registradas en la Estación Hidrométrica del Ciruelo ubicado en el Distrito de Riego Chira a 4° 31' latitud sur y 80° 25' longitud oeste y una altitud de 104 m sobre nmm.

El objetivo del presente Estudio Preliminar es fundamentalmente determinar la relación de las señales de las regiones Niño1+2 y Niño3 con los caudales del río Chira de la costa norte del Perú, período 1960 y 1994.

Se ha efectuado las acciones del caso para establecer si existe relación entre las señales de las temperaturas de la superficie del mar en las regiones denominadas Niño1+2 y Niño3 y los caudales del Río Chira de los años 1960 a 1994, con el objeto de determinar en el futuro, el pronóstico del mencionado valle para de ser utilizados en la agricultura a fin de incrementar realmente la producción y productividad agrícola.

Para el logro del trabajo señalado se obtuvo los caudales del Río Chira, período 1960 a 1994, información recopilada por el suscripto, y se completó la información faltante. Se obtuvo las temperaturas de la superficie del mar en las regiones Niño1+2 y Niño3 del período 1949 a 1994, a través del programa Climlab.

Seguidamente se seleccionó el mismo período para la información de los caudales del Río Chira y de las temperaturas de las regiones Niño1+2 y Niño3 y se procedió a calcular las anomalías normalizadas de los caudales del Río Chira.

Finalmente, se graficó los caudales normalizados del Río Chira junto con las temperaturas de la superficie del mar en las regiones denominadas Niño1+2 (Figura 1) y Niño3 (Figura 2) del Océano Pacífico.

### **CONCLUSIONES**

Realizada la correlación entre las anomalías del Niño1+2 y los caudales del Río Chira normalizado se encuentra una relación directa, siendo las más resaltantes las anomalías de los años 1966 y 1983. Comparando igualmente las anomalías del Niño3 con los caudales de Río Chira normalizado se encuentra que existe relación directa, destacándose más notoriamente los años 1966 y 1983. La Tabla 1 presenta un resumen de los resultados obtenidos al calcular la correlación entre la temperatura de la región Niño1+2 y Niño3 y los caudales del río Chira.

Comparando los resultados de la correlación entre los Niños 1-2 y Niño3 y los caudales del río Chira se observa que existe una correlación mayor con el Niño1+2.

En primer lugar se recomienda profundizar las actividades de este estudio tendientes a precisar la relación existente entre los caudales del río Chira y los demás años del período 1960 y 1994 a excepción de los años 1966 y 1983 que son muy evidentes.

Siguiendo la misma metodología y profundizándola más, se podría establecer la relación existente de las anomalías del Niño y los caudales de los principales ríos de la costa peruana.

Finalmente, los resultados de los estudios de las correlaciones de las anomalías del Niño con los caudales de los ríos de la costa peruana deberían ser utilizados en el futuro para determinar la disponibilidad del recurso hídrico, dentro de los estudios de los proyectos de riego que promovemos y generamos dentro de nuestra institución.

Tabla 1.- Correlación entre las TSM en la región Niño1+2 y Niño3 y los caudales del río Chira.  
Período: 1960-1994.

Niño1+2	Caudal río Chira	Coef.corr.	Niño3	Caudal Río Chira	Coef.corr.
Enero	Enero	0.64	Enero	Enero	0.51
Febrero	Mayo	0.57	Febrero	Mayo	0.32
Marzo	Junio	0.53	Marzo	Mayo	0.31
Abril	Mayo	0.53	Abril	Mayo	0.43
Mayo	Mayo	0.56	Mayo	Julio	0.44
Junio	Julio	0.50	Junio	Julio	0.40
Julio	Julio	0.55	Julio	Noviembre	0.39
Agosto	Noviembre	0.53	Agosto	Noviembre	0.47
Septiembre	Noviembre	0.42	Septiembre	Noviembre	0.39
Octubre	Noviembre	0.44	Octubre	Noviembre	0.41
Noviembre	Diciembre	0.49	Noviembre	Noviembre	0.44
Diciembre	Diciembre	0.48	Diciembre	Diciembre	0.38

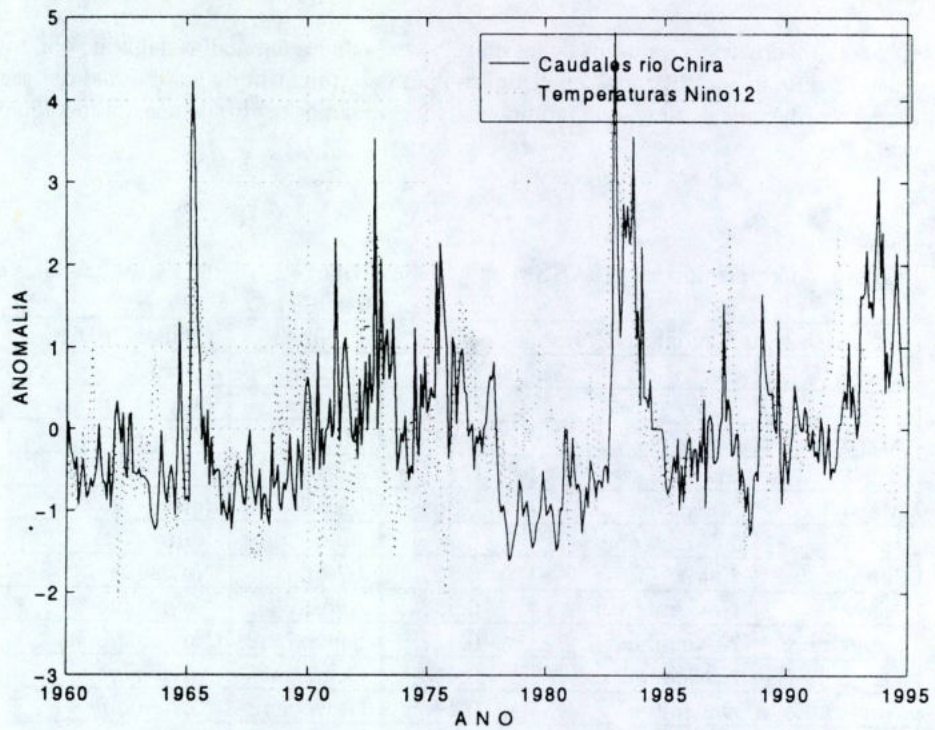


Figura 1.- Anomalías normalizadas de los caudales del Río Chira (línea llena) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño1+2 del Océano Pacífico (línea punteada).

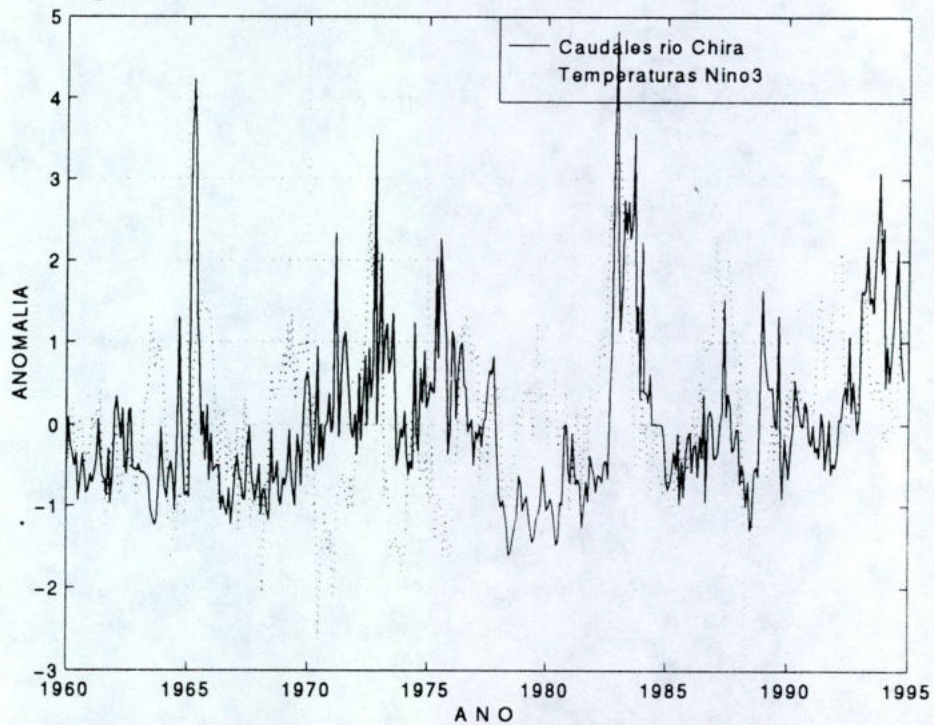


Figura 2.- Anomalías normalizadas de los caudales del Río Chira (línea llena) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño3 del Océano Pacífico (línea punteada).

## INFLUENCIA DEL ENOS EN LA CUENCA DEL RIO YARACUY, VENEZUELA

Maria I. ROJAS POLANCO  
Unidad de Estudios del Clima Tropical  
Centro Interamericano de Desarrollo Ambiental y Territorial  
Mérida, Venezuela

El presente trabajo representa un estudio preliminar sobre la posible asociación entre el comportamiento mensual del caudal del Río Yaracuy y las temperaturas de la superficie del mar en el Océano Pacífico.

En primer lugar se buscó detectar las asociaciones entre las anomalías climáticas de gran escala determinada por el ENOS (El Niño/Oscilación del Sur) y las anomalías del caudal registrado en la cuenca, utilizando los índices tradicionalmente usados para describir el ENOS y las anomalías del caudal, suavizando las series con promedios móviles en tres meses.

En segundo lugar se expresaron los resultados del diagnóstico a través de una función lineal simple, relacionando los caudales máximos mensuales registrados en los meses de julio, agosto y septiembre, con las anomalías medias trimestrales de las temperaturas del Pacífico, esto con el fin de ser aplicado en la planificación del recurso hídrico en el área de estudio.

La cuenca se encuentra ubicada en el estado Yaracuy, Venezuela entre 10°04'N y 10°36'N y 68°12'O y los 69°04'O, cubriendo un área de 2236 Km<sup>2</sup> hasta su desembocadura en el Mar Caribe. El relieve de la cuenca se eleva gradualmente desde las costas hacia el interior con una topografía accidentada en las laderas de las montañas, con alturas superiores a los 500 msnm y ondulada en los valles. Por su ubicación geográfica está bajo la influencia de los vientos Alisios del Este y aún cuando son de baja intensidad se nota la convergencia de vientos intertropicales cargados de humedad los cuales son la causa principal de la lluvia en la región. La temperatura media en el área es de 26°C con fluctuaciones mensuales entre 25.4°C y 26.6°C, y la precipitación presenta su valor máximo medio en el mes de Julio con 267.5 mm y un mínimo en el mes de febrero de 4.0 mm. Los valores anuales oscilan entre los 918.9 mm y los 1546.4 mm. Con respecto a la hidrometría registrada, los mayores valores se registran en los meses de julio, agosto y septiembre.

El estudio se realizó con la información hidrométrica mensual registrada en la estación hidrométrica Puente Cumaripa, durante el período 1970-1990. Para caracterizar el estado del sistema acoplado Océano Pacífico Tropical - Atmósfera en relación al ENOS, se utilizaron el índice de Oscilación del Sur (IOS) y las temperaturas de la superficie del mar en las regiones conocidas como Niño1+2, Niño3 y Niño4 respectivamente, realizando los análisis estadísticos en base a anomalías estandarizadas calculadas en cada una de las series de datos, suavizadas con un promedio móvil en tres meses, eliminándole además el ciclo anual.

Con el fin de detectar la incidencia del ENOS se graficaron los registros históricos de las anomalías estandarizadas para analizar si existía o no modulación entre el comportamiento del caudal con cada uno de los índices del Pacífico. Luego se aplicó análisis espectral para observar si existía coincidencia entre la ocurrencia de los eventos ENOS y las anomalías significativas en el caudal. Luego se calculó la función de autocorrelación del caudal con el objetivo de estudiar la capacidad de predicción del mismo en relación a su comportamiento histórico mensual. Por último se estimó la función de correlación cruzada entre el caudal y cada uno de los índices climáticos del Pacífico para analizar no sólo la correlación entre las variables sino también su tiempo de rezago.

Además se plantearon modelos de pronóstico del caudal, en primer lugar como regresiones lineales simples entre las anomalías del caudal promedio trimestral de los meses de julio, agosto y septiembre, correspondientes al período lluvioso en el país y las anomalías promedio trimestrales de la temperatura de la superficie del mar en las regiones Niño1+2 y Niño3, y posteriormente como un modelo de regresión múltiple considerando a ambos como predictores.

En la representación gráfica de los datos históricos de las anomalías del caudal y de los índices climáticos considerados, se observó que existe una modulación inversa levemente desfasada, entre el caudal y el índice IOS (Figura 1), demarcándose esta característica en los años Niño. Con respecto al caudal y anomalías en la región Niño1+2 (Figura 2), se presenta generalmente una modulación conjunta positiva, esto es anomalías positivas de Niño1+2 se corresponden con anomalías positivas en el caudal, aunque a partir de 1980 se observó un leve desfase. Las trazas de caudal y los índices de las zonas Niño3 y Niño4 (Figuras 3 y 4), no presentaron un comportamiento de modulación predominante.

En el análisis realizado en base a los periodogramas se observaron frecuencias comunes de ocurrencias entre las anomalías del caudal considerado y las anomalías de la temperatura del mar en diferentes zonas del Pacífico, con un pequeño desfase en las altas frecuencias del caudal con respecto a los índices IOS y el Niño3.

Estudiando la función de autocorrelación se pudo notar que la capacidad de predicción del caudal es representativa hasta el quinto mes con un coeficiente de correlación mayor a 0.5. También se observa una alta persistencia en la evolución de los caudales, indicando una fuerte estabilidad entre los eventos.

La correlación cruzada entre el caudal y los índices IOS, Niño1+2 y Niño3, indican que existe una relación buena en la evolución conjunta de ambas variables. La Tabla 1 resume los mayores coeficientes de correlación y los correspondientes rezagos en meses

Se planteó un modelo de predicción de la anomalía del caudal promedio en el período de julio, agosto, septiembre basado en una regresión lineal con los índices Niño1+2 y Niño3 y los resultados se muestran en la Tabla 2.

También se analizó diferentes modelos de regresión múltiple para pronosticar los caudales en diferentes trimestres utilizando tanto a Niño3 como Niño1+2. Sin embargo, la contribución del primero es poco significativa, por lo que la estimación del caudal depende solamente de las anomalías de temperatura ocurridas en la zona Niño1+2.

## CONCLUSIONES

A través de la metodología aplicada se demostró la incidencia del fenómeno ENOS en el comportamiento mensual del caudal del RíoYaracuy. Se puede destacar que existe una modulación predominante inversa entre las anomalías del caudal y el índice IOS y en fase con respecto al Niño1+2.

El área del Océano Pacífico de mayor correlación con las anomalías del caudal correspondió a la zona conocida como el Niño1+2, por lo que se estima que esta área domina físicamente, aunque no exclusivamente, el comportamiento del caudal en la cuenca analizada.

En el ensayo de predicción realizado se observó que el Niño3 tiene poco peso por lo que la ecuación de pronóstico puede tener como único predictor a las temperaturas de la región Niño1+2.

En particular, las anomalías promedios del Niño1+2 de los trimestres enero, febrero, marzo y febrero, marzo, abril fueron estadísticamente significativas para estimar el caudal en el período julio, agosto y septiembre.

Se recomienda extender el área geográfica de estudio y ampliar no sólo el número de estaciones hidrométricas y climatológicas sino también el período de registro de información de manera tal de poder visualizar mejor la incidencia del fenómeno ENOS en el comportamiento hidroclimático y validar los modelos que se diseñen. Se recomienda también analizar la incidencia de las anomalías de las temperaturas del Océano Atlántico.

Por último se recomienda estudiar el efecto del ENOS a escala nacional, dividiendo al país por regiones geográficas, como así también trabajar conjuntamente con otras instituciones de manera de aplicar el pronóstico estacional e interanual en otras áreas tales como la agricultura y la hidroelectricidad.

Tabla 2.- Máximos coeficientes de correlación entre los caudales del río Yaracuy en la estación Puente Cumaripa y los índices IOS, Niño1+2 y Niño3

Indice	Rezago	Coef. Corr.
IOS	5	0.4310
Niño1+2	3	0.4652
Niño3	6	0.3786
Niño4	6	0.2458

Tabla 3.- Regresión lineal la estación Puente Cumaripa en el período de julio, agosto, septiembre y las TSM.

Trimestre	Coef. Corr.	Error. Stand.	Fo	Intercepción	Pendiente
Niño1+2					
EFM	0.56	0.79	8.47	-0.04	0.53
FMA	0.56	0.79	8.82	-0.02	0.68
MAM	0.56	0.79	8.79	-0.01	0.59
AMJ	0.55	0.79	8.42	-0.01	0.57
Niño3					
EFM	0.44	0.86	4.6	-0.01	0.35
FMA	0.45	0.85	4.91	-0.01	0.41
MAM	0.43	0.86	4.23	-0.01	0.42
AMJ	0.39	0.88	3.32	0.02	0.38

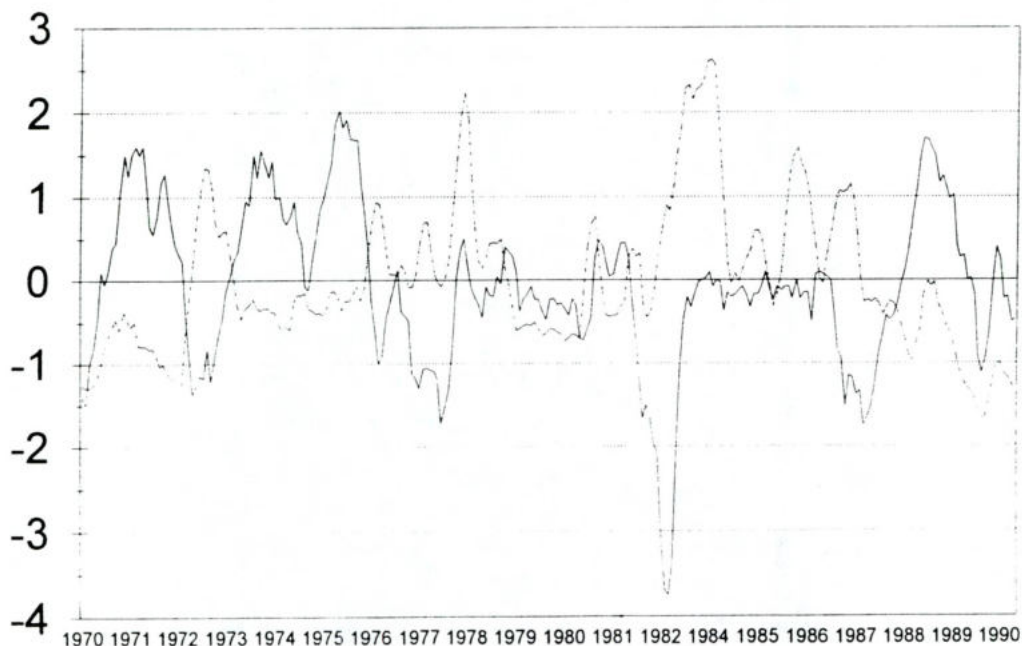


Figura 1.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puente Cumaripa (línea punteada) y el índice de oscilación del Sur (línea llena).

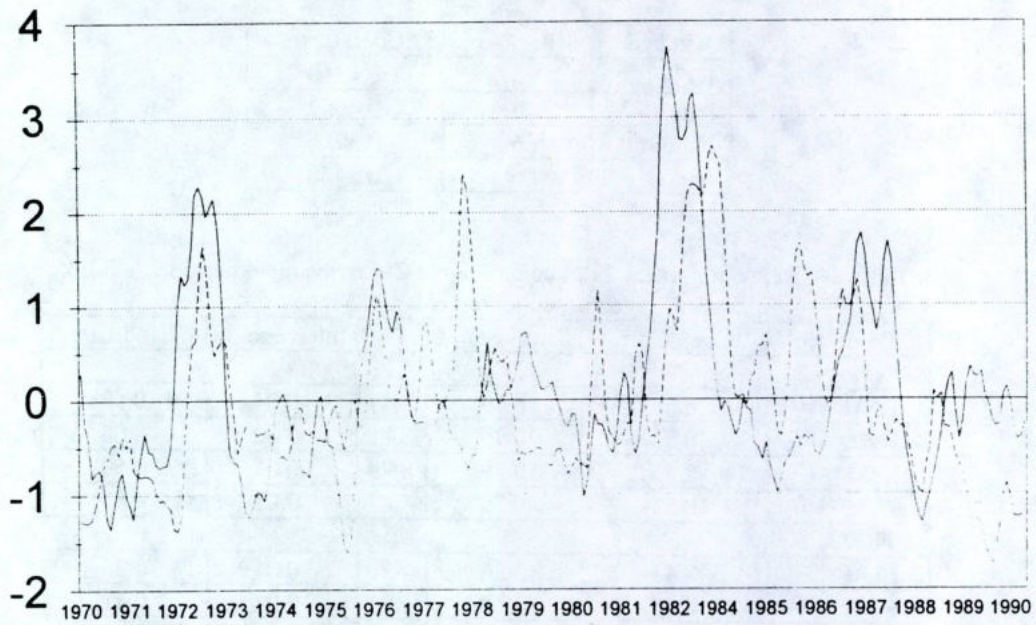


Figura 2.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puente Cumaripa (línea punteada) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño1+2 del Océano Pacífico (línea llena).

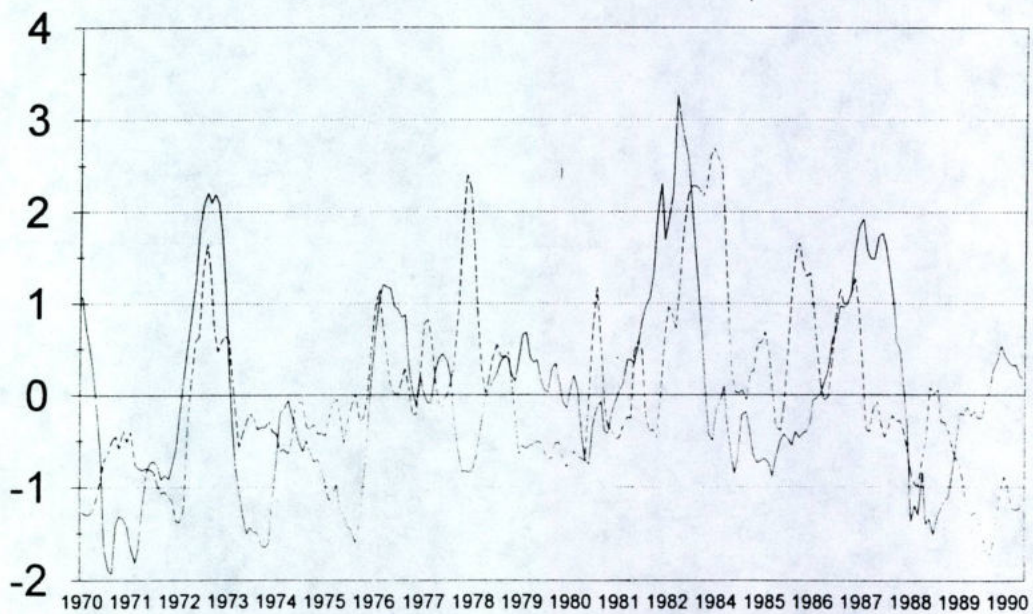


Figura 3.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puente Cumaripa (línea punteada) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño3 del Océano Pacífico (línea llena).

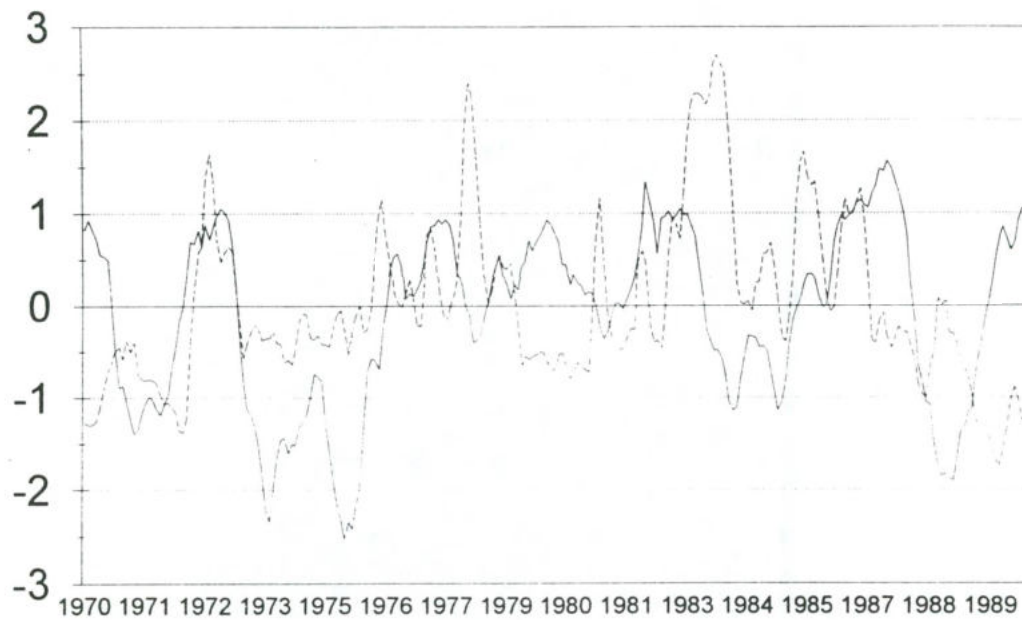
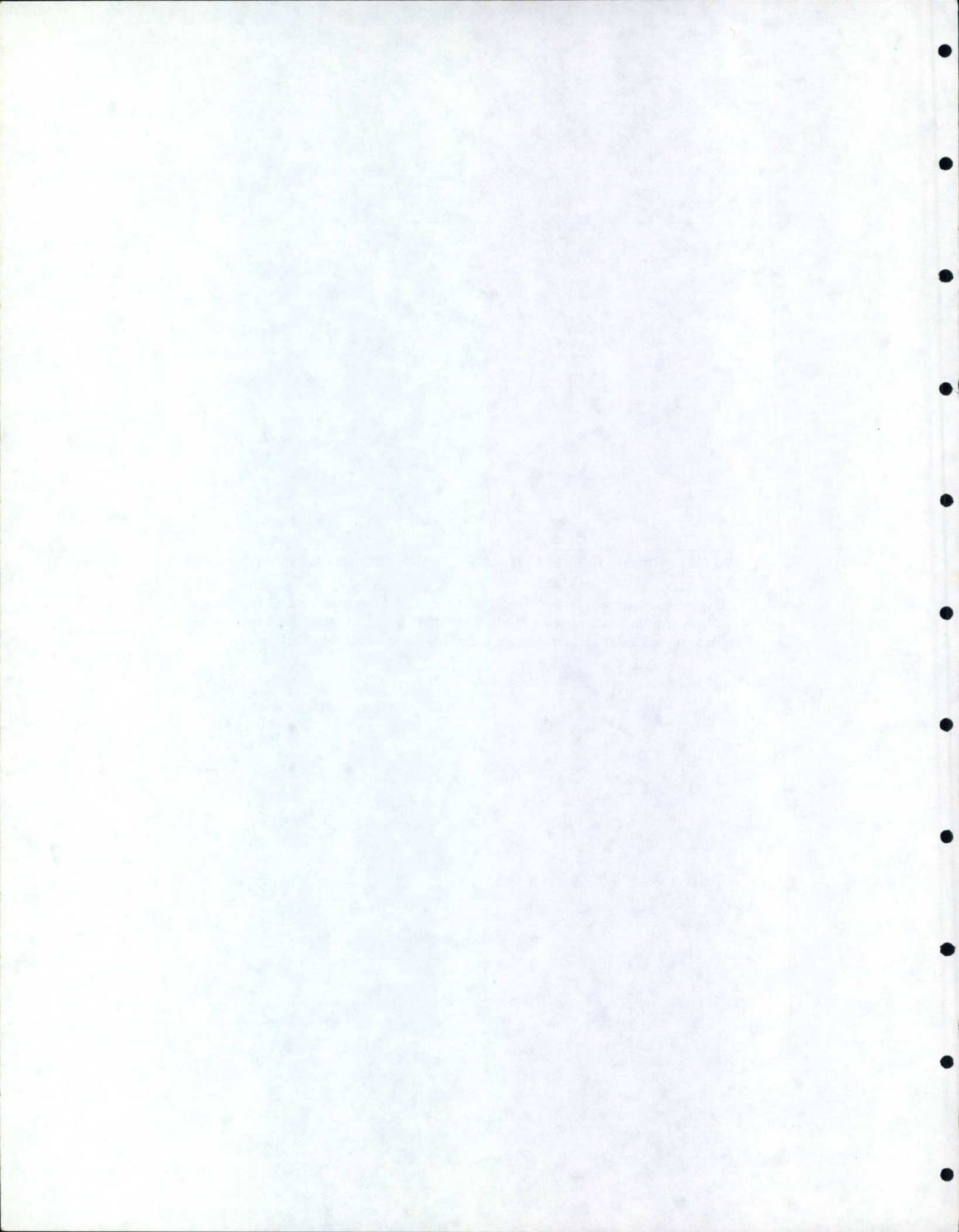


Figura 4.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puesto Cumaripa (línea punteada) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño4 del Océano Pacífico (línea llena).



**ANEXO A: LISTA DE PARTICIPANTES**

**“Curso de Entrenamiento Regional sobre Aplicaciones Prácticas de la Predicción Climática  
a Corto Plazo a la Hidrología y al Manejo de los Recursos Hídricos en  
Centroamérica y Sudamérica”  
Santa Fe, 3 al 28 de julio de 1995.**

**Argentina.**

Pablo Alberto Cacik

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.  
Ciudad Universitaria CC495 - Paraje El Pozo - CP3000 - Santa Fe, Argentina.

Andrea Fabiana Carril

Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera  
Pabellón 2, Ciudad Universitaria - CP1428 - Buenos Aires, Argentina.  
Correo electrónico: carril@cima.uba.ar

Moirá Doyle

Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Universidad de Buenos Aires  
Pabellón II Ciudad Universitaria - CP1428 - Buenos Aires, Argentina.  
Correo electrónico: saluzzi@meteor.edu.ar

Eduardo Adrian Flamenco

Evaluación de Recursos S.A.  
Moreno 1140 - 2do. Piso - CP1091 - Buenos Aires, Argentina.  
Correo electrónico: evarsabue@arg.siscotel.com

Marcela Alejandra Ghietto

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.  
Ciudad Universitaria CC495 - Paraje El Pozo - CP3000 - Santa Fe, Argentina.  
Correo electrónico: mghietto@fich.unl.edu.ar

Maria Cristina Moyano

Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas  
CC 23 Aeropuerto Ezeiza - CP1802 - Buenos Aires, Argentina.

Susana B. Vanlesberg

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.  
Ciudad Universitaria CC495 - Paraje El Pozo - CP3000 - Santa Fe, Argentina.

Daniel Alejandro Vila

Servicio Meteorológico Nacional  
25 de Mayo 658 - CP1002 - Buenos Aires, Argentina.

Graciela Viviana Zucarelli

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.  
Ciudad Universitaria CC495 - Paraje El Pozo - CP3000 - Santa Fe, Argentina.

**Brasil.**

Darci Antonio Althoff

EPAGRI

Rodovia SC 446, Bairro Estacao - CP 49 - 88840 - 000 - Urussanga SC, Brasil.

Fernando Cesar Moura de Andrade

Fundacao Cearense de Meteorologia e Hidrologia (FUNCEME)

Av. Bezerra de Menezes 1900, Sao Gerardo - Fortaleza, Ceara, Brasil

Correo electrónico: andrade@zeus.funceme.br

Alfonso Risso

CEPSRM - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Campus do Vale, Av. Bento Goncalves 9500 - CP 15044 CEP 91501-970 Porto Alegre, R.S. Brasil.

Correo electrónico: risso@ifl.if.ufrgs.br

**Colombia.**

Edgar Cadavid Mazo

Interconexión Eléctrica S.A. - ISA

AP 8915 - Medellín - Colombia.

Correo electrónico: isacnd@sigma.eafit.edu.co

Héctor Díaz Pizarro

Departamento Hidrometría e Instrumentación, Empresas Públicas de Medellín

AP 095373 - Medellín, Colombia.

Correo electrónico: jatruji@sigma.eafit.edu.co

Jose Enrique Salazar Velasquez

Empresas Públicas de Medellín

AP 095373 - Medellín, Colombia.

Correo electrónico: Ofernan@sigma.eafit.edu.co

**Chile.**

Daniel Benitez

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Universidad Catolica de Chile.

Avda. Vicuna Mackena 4860, Santiago, Chile.

Correo electrónico: bfernand@plomo.ing.puc.cl

Gabriel Castro Araya

Departamento de Ingeniería Civil, Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile.

Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile.

**Ecuador.**

Winston Marcial Villagomez del Pozo

DOSNI, INECEL

Casilla 265-A - La Granja 112 y Av. Amazonas - Quito, Ecuador.

Correo electrónico: gtv@ecnet.ec

**México.**

Jorge Sanchez-Sesma

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Paseo Cuauhnahuac 8532 - Jiutepec 62550 Mor., Méjico.

Correo electrónico: aparicio@tlaloc.imta.mx

**Panamá.**

Abril Mendez

Departamento Hidrometeorología, Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación de Panamá  
Av. Justo Arocena - Edificio Hatillo, Panamá.

**Perú.**

Cesar Portocarrero Rodriguez

Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, Electroperú  
Avda. Confraternidad Internacional 167 - Huaraz, Perú.

Justo E. Salcedo Baquerizo

Instituto Nacional de Recursos Naturales

Calle 17 No. 355 Urbanización El Palomar - San Isidro, Lima, Perú.

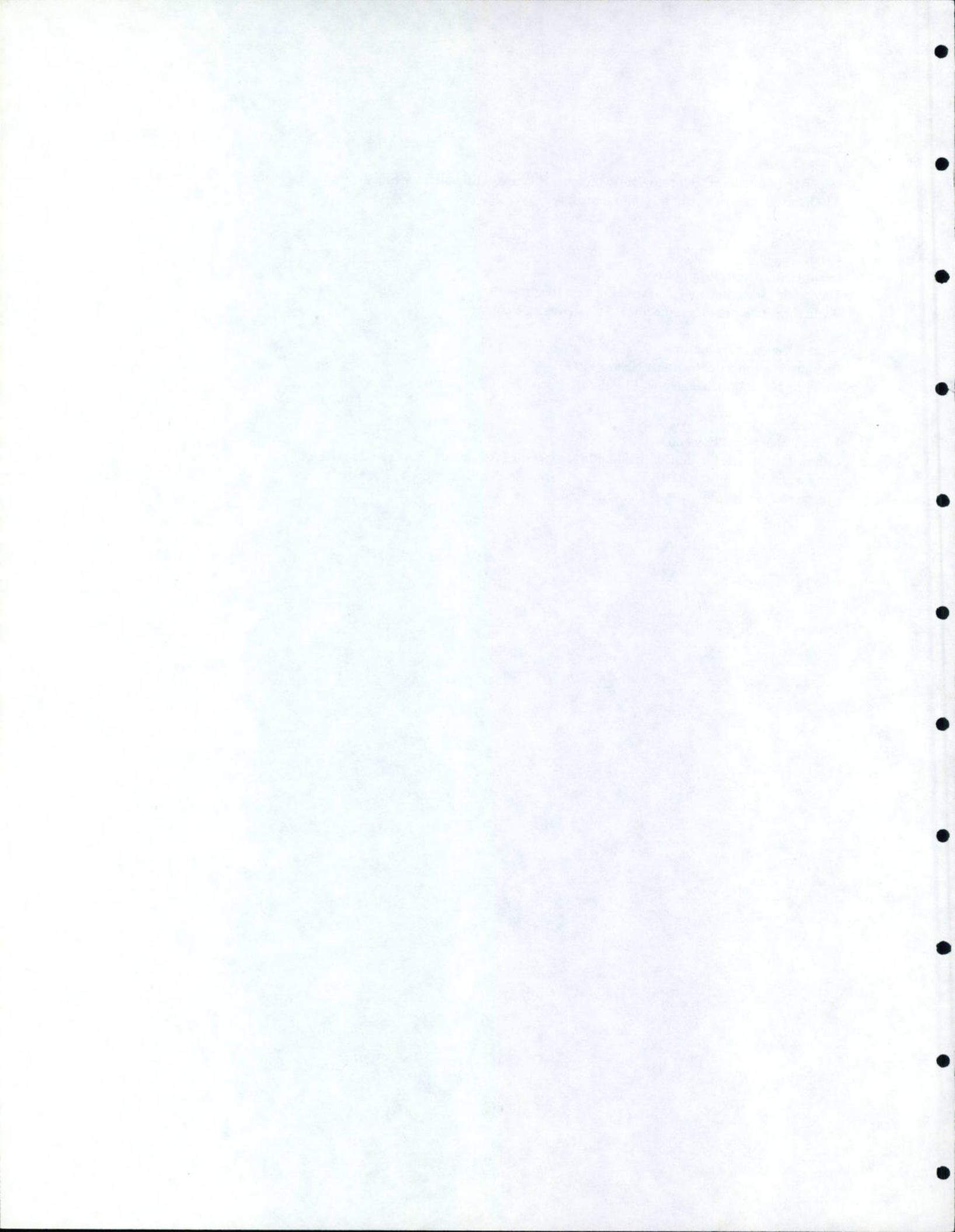
**Venezuela.**

Maria Isabel Rojas Polanco

Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT)

Parque "La Isla", Edif. CIDIAT - AP219, 5101A Merida, Eda. Mérida, Venezuela.

Correo electrónico: rojaspmi@faces.ula.ve



**ANEXO B: PARTICIPANTES DEL SIMPOSIO Y PONENCIAS.**

**“Simposio sobre el Uso Potencial de la Predicción Climática Estacional e Interanual en el Gerenciamiento de los Recursos Hídricos en Centroamérica y Sudamérica”  
Santa Fe, 10 - 12 de julio de 1995.**

**Argentina.**

***Zonas de riesgo hidrológico en la pampa húmeda debido a precipitaciones***

Eduardo Ceirano, Evaluación de Recursos S.A. y Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.

Santa Fe, Argentina.

***La variabilidad climática y su efecto en los procesos hidrológicos.***

Walter Vargas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Buenos Aires, Argentina.

***Análisis económico del impacto del pronóstico climático en la administración territorial.***

Hugo Arrillaga, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.

Santa Fe, Argentina.

***Evaluación del riesgo hidrológico debido a descargas excesivas de grandes ríos.***

Carlos Paoli, Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica y Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del litoral.

Santa Fe, Argentina.

***Pronóstico climático y alerta hidrológico en la cuenca del Paraná.***

Dora Godniazki, Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica.

Buenos Aires, Argentina.

***Aplicaciones del pronóstico climático al pronóstico hidrológico por métodos estocásticos.***

Mario Silber, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.

Santa Fe, Argentina.

***Estimación temprana de la disponibilidad de agua con fines energéticos.***

Daniel Berger, Evaluación de Recursos S.A.

Buenos Aires, Argentina.

***La variabilidad de la precipitación en el oeste de la pampa húmeda.***

Carlos Krepper, Universidad Nacional del Sur.

Bahía Blanca, Argentina.

***Aspectos hidrológicos del oeste de la provincia de Buenos Aires.***

José Aiello, Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

Buenos Aires, Argentina.

***El programa de entrenamiento del Instituto Interamericano de Estudios del Cambio Climático.***

Mario Nuñez, Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Universidad de Buenos Aires.

Buenos Aires, Argentina.

***Análisis de la precipitación y tormenta de diseño en la provincia de Mendoza.***

Pedro Fernandez, Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica - Centro Regional Andino.

Mendoza, Argentina.

***El cambio global y la variabilidad climática interdecádica.***

Vicente Barros, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.  
Buenos Aires, Argentina.

***Actividades hidrológicas en el Servicio Meteorológico Nacional.***

Mirta Giachino, Servicio Meteorológico Nacional.  
Buenos Aires, Argentina.

***El uso práctico del monitoreo climático en la formulación del pronóstico climático.***

Hugo Hordij, Servicio Meteorológico Nacional.  
Buenos Aires, Argentina.

**Brasil**

***Previsión estacional de la precipitación en Perú y sur de Brasil basada en modelos conceptuales.***

Angel Cornejo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.  
Sao Jose dos Campos, Brasil.

***Monitoreo y predicción del tiempo, clima y los recursos hídricos: Proyecto Meteosul de Aplicaciones en el sur del Brasil***

Caaren Studzinski, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.  
Sao Jose dos Campos, Brasil.

***Situación actual de un Centro de Aplicaciones Climáticas en el sur del Brasil.***

Caaren Studzinski, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.  
Sao Jose dos Campos, Brasil.

***Actividades sobre pronóstico climático en la Fundação Cearense, Fortaleza.***

Carlos Repelli, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.  
Fortaleza, Brasil.

***Impacto socio-económico de la variabilidad climática a corto plazo en el sur del Brasil y su aplicación al pronóstico climático.***

Moacir Berlatto, Universidad Federal Río Grande do Sul.  
Porto Alegre, Brasil.

**Colombia.**

***ENSO y la predicción hidrológica en Colombia y el norte de Sudamérica***

Germán Poveda, Facultad de Minas, Universidad Nac. de Colombia.  
Medellín, Colombia.

**Chile.**

***La influencia del ENSO en el régimen hidrológico en los Andes***

Patricio Aceituno, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.  
Santiago, Chile.

***Pronóstico estacional de la precipitación en Chile central: un modelo operativo.***

Aldo Montecinos, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.  
Santiago, Chile.

**Estados Unidos.**

***El proyecto de predicción climática estacional e interanual de NOAA***

Kenneth Mooney, NOAA Office of Global Programs.  
Silver Spring, MD, USA.

***Actividades en Aplicaciones y Entrenamiento del Proyecto Piloto del IRI.***

Guillermo Berri, IRI Applications and Training Pilot Project, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University.  
Palisades, NY, USA.

***La variabilidad climática y el impacto del ENSO***

Chester Ropelewski, Climate Analysis Center, NOAA / NWS / NMC.  
Washington DC, USA.

***Estado actual del conocimiento acerca de la predicción climática a corto plazo.***

Antonio Busalacchi, Laboratory for Hydrospheric Processes, NASA / Goddard Space Flight Center.  
Greenbelt, MD, USA.

***Algunas consecuencias políticas y sociales de El Niño: estudios de los casos Costa Rica y Perú.***

Peter Waylen, Department of Geography, University of Florida.  
Gainesville, FL, USA.

***Desarrollo de un modelo de pronóstico hidrológico usando índices climáticos.***

Juan Valdes, Department of Civil Engineering, Texas A&M University.  
College Station, TX, USA.

***Acerca de la variabilidad de la precipitación inducida por el ENOS en el sudeste de Sudamérica y la posibilidad de su predicción estacional.***

Guillermo Berri, IRI Applications and Training Pilot Project, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University.  
Palisades, NY, USA.

**Perú.**

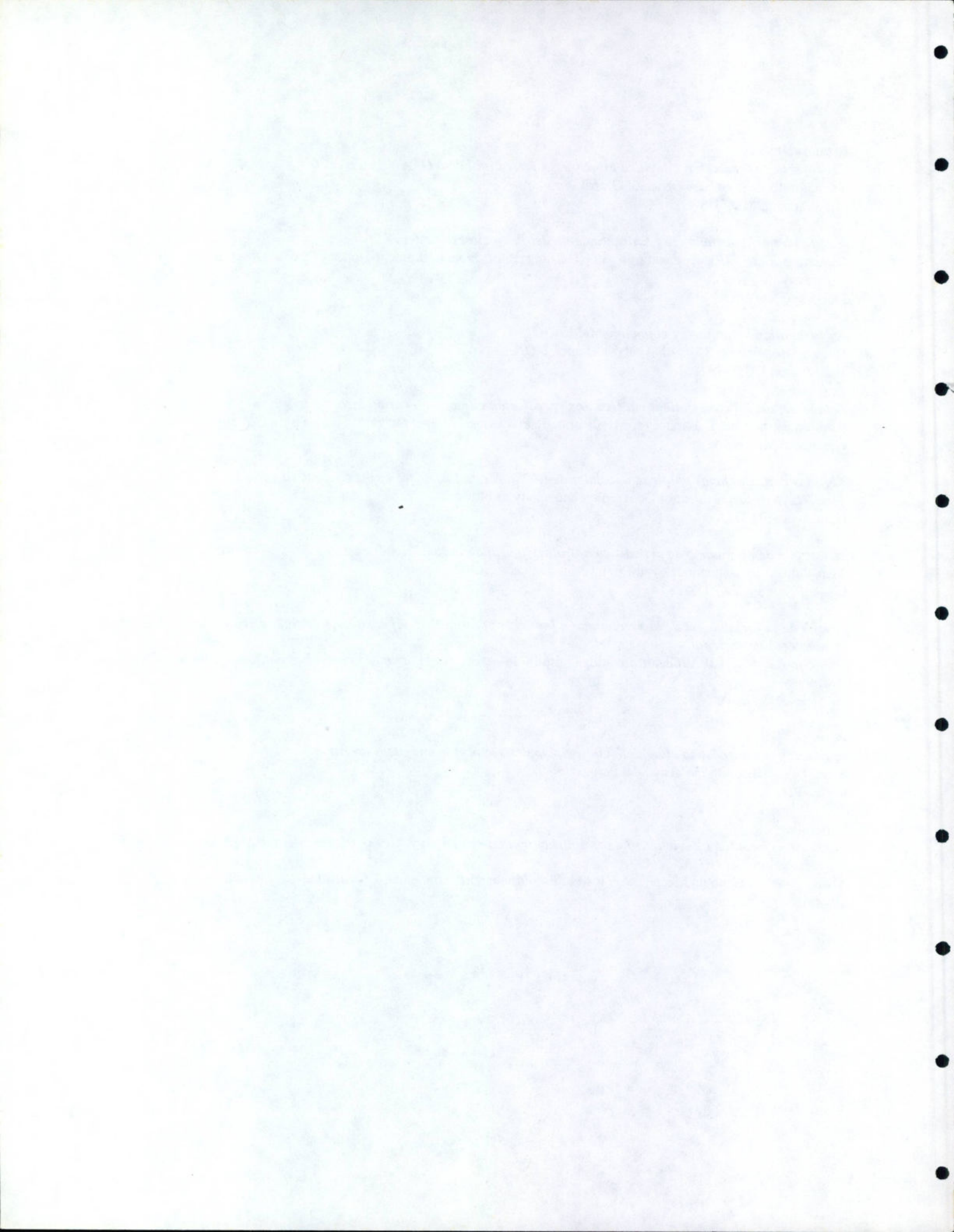
***Aplicación del pronóstico climático a los principales sectores económicos en Perú.***

Pedro Lagos, Instituto Geofísico del Perú.  
Lima, Perú.

**Uruguay.**

***Predicción climática a corto plazo y sus aplicaciones en el Uruguay. La experiencia del GDAO y su relación con el Proyecto Piloto del IRI.***

Alvaro Diaz, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la República.  
Montevideo, Uruguay.



## **ANEXO C: DEFINICIONES UTILIZADAS**

### **EL NIÑO**

Los pescadores de las costas del Ecuador y el Perú utilizaron el término "El Niño" para describir el fenómeno de calentamiento de las aguas marinas, que año tras año, se inicia en el mes de diciembre, próximo a la época de Navidad, y afecta la actividad pesquera de ambos países.

Este calentamiento estacional de las aguas costeras de América del Sur, sobre el Océano Pacífico, es causado por una interacción a gran escala entre el océano y la atmósfera. En la actualidad científicos e investigadores utilizan el término "El Niño", para hacer referencia a una sucesión de cambios en la circulación de las aguas del Océano Pacífico tropical, que se manifiestan cuando el proceso de calentamiento de esas aguas oceánicas adquiere magnitudes importantes. Estos cambios en las condiciones oceánicas están acompañados por cambios en la circulación atmosférica, resultando en una alteración importante de los patrones climáticos globales.

Durante los últimos 40 años se han producido nueve procesos de calentamiento o eventos Niño de singular importancia. Uno de los más severos tuvo lugar durante los años 1982-1983, afectando no sólo el clima y la vida marina local, sino también las condiciones climáticas en todo el planeta. Este impacto ambiental se materializó en inundaciones, sequías, incendios forestales, tormentas tropicales, erosión costera, etc. afectando severamente los ecosistemas y la vida del hombre en diferentes regiones del globo.

Cuando sobre las aguas oceánicas tiene lugar un proceso de enfriamiento, recibe el nombre de fenómeno "La Niña" y hace referencia a condiciones oceánicas opuestas al fenómeno "El Niño".

### **LA OSCILACION DEL SUR**

El término "Oscilación del Sur" hace referencia a una variación cíclica de la presión atmosférica en el Hemisferio Sur, que se manifiesta con mayor intensidad en el Océano Pacífico. Esta variación cíclica de la presión atmosférica se produce entre el Océano Índico y Pacífico oriental y se manifiesta de forma tal que cuando la presión atmosférica es mayor que la normal sobre uno de esos puntos, es inferior a la normal sobre el otro, y viceversa.

Este comportamiento oscilatorio de la presión, ocurre debido a los cambios a gran escala de la circulación atmosférica, que están a su vez fuertemente ligados a los cambios en la temperatura del mar en el Océano Pacífico tropical.

### **EL NIÑO / OSCILACION DEL SUR (ENOS)**

Los fenómenos descritos anteriormente interactúan mutuamente, uno alterando los patrones globales oceánicos y el otro los patrones globales atmosféricos. Por este motivo actualmente se refiere a ambos como un único fenómeno denominado ENOS.

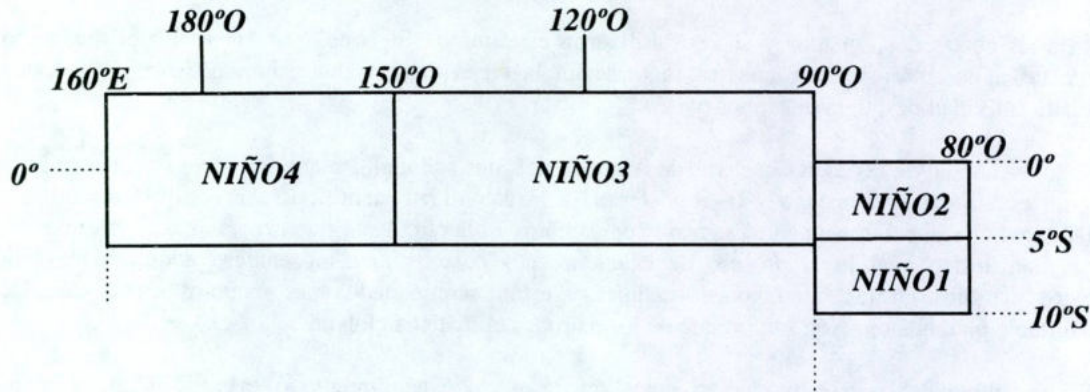
### **INDICES DE "EL NIÑO"**

Por simplicidad se define un conjunto de regiones en el Océano Pacífico Tropical en donde tienen lugar las mayores variaciones de temperatura de la superficie del mar conocidas como el fenómeno El Niño.

Estas regiones son:

- Región Niño1, ubicada entre los 0° - 5°S y los 90°O - 80°O.
- Región Niño2, ubicada entre los 5° - 10°S y los 90°O - 80°O.

- Región Niño3, ubicada entre los 5°N - 5°S y los 150°O - 90°O
- Región Niño4, ubicada entre los 5°N - 5°S y los 160°O - 150°O



Para cada una de estas regiones se establece un índice (que lleva el mismo nombre) que representa la desviación del promedio de todas las observaciones en esa región con respecto del valor medio climatológico de las observaciones. Todos estos valores son promedios mensuales medidos en grados Celsius. El índice de la Región Niño1+2 es calculado como un promedio entre los índices de la Región Niño1 y la Región Niño2.

#### INDICE DE LA “OSCILACION DEL SUR”

El Índice de Oscilación del Sur (IOS) es la diferencia de las anomalías mensuales normalizadas de la presión atmosférica entre Tahití y Darwin (Australia).

$$IOS = \frac{T - \bar{T}}{\sigma_T} - \frac{D - \bar{D}}{\sigma_D}$$

Donde:

- $T$  : presión atmosférica media mensual en Tahití;
- $D$  : presión atmosférica media mensual en Darwin;
- $\bar{T}$  : valor medio mensual climatológico de  $T$ ;
- $\bar{D}$  : valor medio mensual climatológico de  $D$ ;
- $\sigma_T$  : desvío estandar de la presión atmosférica media mensual en Tahití;
- $\sigma_D$  : desvío estandar de la presión atmosférica media mensual en Darwin.

**ANEXO D: PUBLICACIONES DEL PROYECTO PILOTO DEL IRI**

**First International Training Course on Practical and Theoretical Aspects of Short Term Climate Prediction,  
Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University,  
Palisades, NY March 1993 - January 1994.**

- Voice, M.E., 1993: *A Significant Start: Multinational and Regional Collaboration in the Development of Tools for Seasonal to Interannual Climate Forecasting*. IRIP-TL-93/1.
- Bertacchi Uvo, C., and Repelli, C.A., 1993: *A Study on the Influence of the Pacific and Atlantic SST on the Northeast Brazil Monthly Precipitation Using Singular Value Decomposition (SVD)*. IRIP-TL-93/2.
- Repelli, C.A., 1993: *Principal Component Analysis of the Precipitation over Semi-Arid Region of the Northeast Brazil*. IRIP-TL-93/3.
- Montecinos, A., 1993: *On the Predictability of the Austral Winter Rainfall in Central Chile (30 S - 40 S) Using Sea Surface Temperature in the Pacific Ocean*. IRIP-TL-93/4.
- Yu, Z-P., 1993: *On the Prediction of Rainfall Variability in the Hawaiian Islands*. IRIP-TL-93/5.
- Roswintiarti, O., 1993: *Climate Anomaly of the Indonesian Archipelago Related with El Niño/Southern Oscillation and Its Short-Term Prediction*. IRIP-TL-93/6.
- Cornejo, A., 1993: *On the Feasibility of Forecasting Precipitation Over the Peruvian Andes*. IRIP-TL-93/7.
- Landman, W., 1993: *A Study of the Rainfall Variability of the summer Rainfall Regions of south Africa, As Revealed by Principal Component Analysis*. IRIP-TL-93/8.
- Diaz, A. and Studzinski, C., 1993: *Main Features of Rainfall Variability in Uruguay-Southern Brazil Region and Prediction Experiments Through Statistical Models*. IRIP-TL-93/9.

**Second International Training Course on Practical and Theoretical Aspects of Short Term Climate Prediction,  
Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University,  
Palisades, NY March -December, 1994.**

- Tanco, R., 1994: *Relationship Between ENSO Cycle and Rainfall in Argentina and Its Short Term Prediction Using Canonical Correlation Analysis*. IRIP-TL-94/1.
- Zhang, B-L., 1994: *Predicting Precipitation and Temperature Anomalies over China by Use of Cane-Zebiak Model Output*. IRIP-TL-94/2.
- Zhao, Z-C., 1994: *Practical Applications of Short-Term Climate Forecast to Crop Yield Predictions in China*. IRIP-TL-94/3.
- Silva Guerrero, G., 1994: *Marine Productivity Seasonal Forecast Along the Ecuadorian Coastal Zone Based on Physical Models of ENSO*. IRIP-TL-94/4.
- Krishna Kumar, K., 1994: *Forecasting of Indian Summer Monsoon Rainfall on Smaller Regional Scales Using Canonical Correlation Analysis Technique*. IRIP-TL-94/5.
- Ishii, M., 1994: *A Statistical Forecast Experiment for Seasonal Air Temperature in Japan Using a Model Identification Criterion*. IRIP-TL-94/6.

Indeje, M.B., 1994: *Diagnostics of East African Rainfall 1951-1990 and Forecasting of the September-November Seasonal Rainfall Using Empirical Methods*. IRIP-TL-94/7.

Vazquez, M.A., 1994: *Diagnostic and Prognostic Study of Rainfall Variability in Paraguay in Connection with ENSO Events*. IRIP-TL-94/8.

Chang, J-C.J., 1994: *An Exploratory Study of the Relationship between annual Frequency of Invaded Typhoons in Taiwan and El Niño/Southern Oscillation*. IRIP-TL-94/9.

Zhakata, W., 1994: *Relationships between Sea-Surface Temperature and Seasonal Rainfall in Southern Africa*. IRIP-TL-94/10.

**First International Training Course on Practical Applications of Short Term Climate Predictions to Agriculture, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY March - June, 1995.**

Diaz, R.A., 1995: *Seeking Practical Applications for Short Climate Predictions in the Agriculture of Argentina*. IRIP-TL-95/1.

Fontana, D.C., 1995: *The Influence of the ENSO Phenomenon Over Maize Yields in the State of Rio Grande do Sul*. IRIP-TL-95/2.

De Oliveira, S.B.P., 1995: *The Impact of Interannual Climate Variability on Maize Yield in Northeast Brazil*. IRIP-TL-95/3.

Currie, W., 1995: *Short Climatic Prediction and Wheat Production in Chile. First Approach*. IRIP-TL-95/4.

Dai, X., 1995: *Preliminary Modeling of ENSO Impacts on Wheat Yields in China*. IRIP-TL-95/5.

Kitheka, S.K., 1995: *Relating the ENSO Phenomenon to Seasonal Precipitation Variability and Maize Production in Semi-Arid, Eastern Kenya*. IRIP-TL-95/6.

Lecler, N.L., 1995: *Generation of Composite Daily Weather Sets for Climate Prediction Applications*. IRIP-TL-95/7.

Pedocchi, R., 1995: *Short-Climatic Prediction and Wheat Production in Uruguay*. IRIP-TL-95/8.

Mutikani, V., 1995: *A Study of ENSO Impacts on Crop Production in Zimbabwe*. IRIP-TL-95/9.

**First International Training Course on Practical Applications of Short Term Climate Predictions to Water Resources Management, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY November 1995 - January 1996**

Flamenco, E.A., 1996: *Seasonal Volume Forecasts Originated in the Snowmelt - Diamante River*. IRIP-TL-96/1.

Ghietto, M.A., 1996: *Diagnostic and Prediction of the Volume Anomalies in La Plata Basin - South America*. IRIP-TL-96/2.

Sanchez, J., 1996: *Pantanal Region in Brazil: SST and Its Relation with the Hydrology of the Area*. IRIP-TL-96/3.

Geng, Q., 1996: *Prediction and Assessment of the Impacts of Short-Term Climate Variabilities on the Water Resources of China*. IRIP-TL-96/4.

Salazar Velasquez, J.E., 1996: *A Study of the ENSO Effect on the River's Streamflow in the Colombian Hydroelectric Generation System*. IRIP-TL-96/5.

Karoki Njogu, A., 1996: *Relationship Between Runoff and Ocean-Atmospheric Variables and Seasonal Runoff Prediction in the Lake Basin in Kenya*. IRIP-TL-96/6.

Portocarrero, C.A., 1996: *The Pacific Ocean Sea Surface Temperatures Variability and Its Relationship with Three Regions in Peru: Trial to a Project of Climate Prediction*. IRIP-TL-96/7.

Madamombe, E.K., 1996: *A Preliminary Study of the Relationship Between ENSO Events and Runoff on Some Selected Catchments in Zimbabwe*. IRIP-TL-96/8.

**Regional Training Course on Practical Applications of Short-Term Climate Predictions to Hydrology and Water Resources Management in Central and South America, Santa Fe, Argentina, July 1995,**

Cacik, P.A., 1995: *Relación entre la Variabilidad Climática en los Océanos Pacífico y Atlántico y los Caudales Registrados en un Sector de la Cuenca del Río Paraná*. IRIP-TR-SF95/1.

Carril, A. and Doyle, M. 1995: *Estudio de los Caudales de Ríos de San Juan y Mendoza y su Relación con el IOS*. IRIP-TR-SF95/2.

Flamenco, E.A., 1995: *Predicción del Derrame Estacional Proveniente del Derretimiento de Nieve en Ríos Cordilleranos de Argentina*. IRIP-TR-SF95/3.

Ghietto, M.A., 1995: *Relaciones entre las Manifestaciones del ENOS y el Comportamiento de los Caudales en la Cuenca del Río Paraná*. IRIP-TR-SF95/4.

Moyano, M.C., 1995: *Relación entre la Variabilidad de Caudales en la Provincia de Buenos Aires, Argentina y los Indicadores del ENOS*. IRIP-TR-SF95/5.

Vanlesberg, S.B., 1995: *Relación entre los Efectos de la Variabilidad Climática y las Alturas Hidrométricas Registradas en Puerto Paraná, Argentina*. IRIP-TR-SF95/6.

Vila, D.A., 1995: *Introducción al Estudio de las Relaciones entre los Ciclos del ENOS y la Temperatura media en la Argentina*. IRIP-TR-SF95/7.

Zucarelli, G.V., 1995: *Relación entre la Variabilidad Climática y los Caudales Registrados en la Cuenca del Río Paraguay*. IRIP-TR-SF95/8.

Althoff, D.A. and Moura de Andrade, F.C., 1995: *Relações entre Anomalias da Temperatura Superficial do Pacífico e Anomalias de Precipitação e vazão (Chapecó-SC-Brasil) para previsão de utilização de práticas conservacionistas do solo*. IRIP-TR-SF95/9.

Moura de Andrade, F.C., 1995: *Influência do fenomeno El Niño em vazões de rios do estado do Ceará*. IRIP-TR-SF95/10.

Risso, A., 1995: *Estudio Preliminar Sobre la Predicción de Caudales en el Sistema Hídrico del Río Uruguay en Función de la Variabilidad de las Anomalías de las Temperaturas del Pacífico Ecuatorial y del Atlántico Sur*. IRIP-TR-SF95/11.

Benitez, G.D., 1995: *Anomalías de Caudales en Chile: Un Intento de Pronóstico Considerando la Influencia del Fenómeno ENOS*. IRIP-TR-SF95/12.

- Castro A., G., 1995: *Estudio de las Relaciones entre el ENOS y el Régimen Fluviométrico en Cuencas de la Zona Central de Chile*. IRIP-TR-SF95/13.
- Cadavid M., E., 1995: *Estimación de Modelos de Pronóstico de Caudal para el Sector Eléctrico Colombiano usando Índices Macroclimáticos asociados al ENOS*. IRIP-TR-SF95/14.
- Pizarro D., H. and Salazar V., J., 1995: *Aplicación Práctica de la Predicción Climática en el Pronóstico de Caudales en el Sistema de Generación Hidroeléctrica de las Empresas Públicas de Medellín*. IRIP-TR-SF95/15.
- Villagomez del Pozo, W.M., 1995: *Predicción de Caudales para el Planeamiento de la Operación en las Centrales Hidroeléctricas de Paute y Agoyan en el Ecuador*. IRIP-TR-SF95/16.
- Sanchez-Sesma, J., 1995: *Pronóstico Estadístico Interanual de Precipitación Pluvial Acumulada de Verano e Invierno para México, Utilizando Teleconexiones Geofísicas y Astronómicas*. IRIP-TR-SF95/17.
- Mendez, A., 1995: *Estudio Preliminar Acerca de El Niño y su Influencia en la Predicción de Caudales en la Cuenca del Río Chiriqui de Panamá*. IRIP-TR-SF95/18.
- Portocarrero, R.C., 1995: *Introducción al Estudio de las Relaciones entre los Ciclos del ENOS y los Caudales Provenientes de los Glaciares de la Cordillera Blanca de los Andes Peruanos*. IRIP-TR-SF95/19.
- Salcedo B., J., 1995: *Estudio Preliminar para Determinar la Relación Existente entre El Niño y los Caudales del Río Chira de la Costa Peruana*. IRIP-TR-SF95/20.
- Rojas P., M.I., 1995: *Influencia del ENOS en la Cuenca del Río Yaracuy, Venezuela*. IRIP-TR-SF95/21.

**IRI Pilot Project Reports, International Research Institute for Climate Prediction - Pilot Project, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades NY USA.**

- Berri, G.J., 1994: *Applications and Training Activity Report No.1*, September 1994, 14 pp., IRIP-CL-94/1 .
- Berri, G.J., 1995: *Applications and Training Activity Report No.2*, June 1995, 40 pp., IRIP-CL-95/1.
- Berri, G.J., 1995: *Recent Advances in Practical Applications of Short Term Climate Predictions to the Regional Impacts of El Niño*, November 1995, 52 pp., IRIP-CL-95/2.
- Kushnir, Y., 1995: *An Introduction to Atmospheric Data Analysis*, June 1995, 36 pp., IRIP-AL-95/1.
- Tanco, R.A. and Berri, G.J., 1995: *CLIMLAB - Climate Laboratory*, December 1995, 56 pp., IRIP-AL-95/2.

