



**FILO:UBA**  
Facultad de Filosofía y Letras  
Universidad de Buenos Aires

G

# Estudio de la posible vinculación entre el fenómeno de El Niño- Oscilación del Sur y las crecidas extraordinarias del Paraná en su curso medio.

Autor:

Gentile, Elvira Eleonora

Tutor:

Ereño, Carlos Eduardo

1993

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título Licenciatura de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Geografía

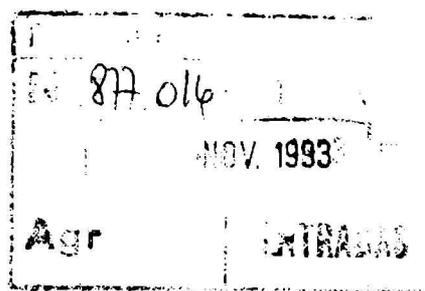
Grado



**FILO:UBA**  
Facultad de Filosofía y Letras

FILODIGITAL  
Repositorio Institucional de la Facultad  
de Filosofía y Letras, UBA

**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**



**Tesis de Licenciatura:**

*"Estudio de la posible vinculación entre el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur y las crecidas extraordinarias del Paraná en su curso medio"*

**Elvira Eleonora Gentile**

**Director de Tesis: Lic. Carlos Eduardo Ereño**

***Buenos Aires, 1993***

**INDICE**

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	5
2.1. El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).....	5
2.1.1. Hacia la conexión entre El Niño y la Oscilación del Sur.....	8
2.1.2. La Oscilación del Sur .....	9
2.1.3. El ciclo anual medio en el Pacífico tropical .....	12
2.1.4. Variaciones Interanuales .....	17
2.1.4.1. El Niño canónico .....	19
2.1.4.2. El evento ENOS de 1982-83 .....	23
2.2. Teleconexiones.....	27
2.3 Estudio de la posible vinculación entre el ENOS y las anomalías de la precipitación en Argentina .....	32
3. Los episodios anómalos de TSM en el Pacífico tropical posteriores a 1982-83 y su vinculación con las crecidas del río Paraná en su curso medio .....	41
3.1. Condiciones hidrológicas y pluviales medias en la zona de estudio.....	44
3.2. Las crecidas del río Paraná.....	48
3.3. Comparación de fenómenos El Niño y La Niña y las crecidas del Paraná.....	53
3.3.1. Fuentes y métodos de tratamiento de datos.....	53
3.3.2. Identificación de los fenómenos El Niño y La Niña.....	56
3.3.3. Análisis de la información .....	58
3.3.3.1. ENOS 1986-1987 .....	58
3.3.3.2. ENOS 1991-1992 .....	66
3.3.3.3. La Niña 1988-1989.....	75
3.3.3.4. El ENOS a lo largo del presente siglo.....	83

---

4. Conclusiones y perspectivas.....	85
5. Bibliografía.....	88
Apéndice: La predicción de El Niño.....	92
Agradecimientos.....	101

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Fig. 1. Temperatura de la superficie del mar en el Atlántico y el Pacífico tropical para el mes de febrero.....	6
Fig. 2. Anomalías de la presión a nivel del mar en Darwin y Tahití (1950-1988).....	11
Fig. 3. Areas con precipitaciones asociadas al ENOS.....	12
Fig. 4. TSM ( $^{\circ}\text{C} \times 10$ ) y ROL ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) medias anuales.....	14
Fig. 5. Principales zonas de convección en el océano Pacífico.....	15
Fig. 6. Circulación de Walker en año normal y año de El Niño.....	18
Fig. 7. Desarrollo de El Niño Canónico según Rasmusson y Carpenter.....	20
Fig. 8. Anomalías de presión en la alta tropósfera en condiciones medias durante un evento ENOS y en el de 1982-83.....	28
Fig. 9. Anomalías de temperatura y precipitación en el período 1982-84.....	31
Fig. 10. Crecidas extraordinarias del río Paraná en Corrientes 1905, 1966, 1977, 1983, 1992.....	34
Fig. 11. Desviaciones de los caudales máximos en Corrientes y ocurrencia simultánea de fenómenos El Niño.....	36
Fig. 12. Cuenca del río Paraná.....	43
Fig. 13. Río Paraná. Caudales medios mensuales en Corrientes y Posadas.....	44
Fig. 14. Marcha anual de la precipitación media en Corrientes, Resistencia, Formosa, Posadas y Paraná.....	46
Fig. 15. Río Paraná. Caudal medio mensual en Pilcomayo.....	47
Fig. 16. Índice de Oscilación del Sur (1974-1993).....	56
Fig. 17. Índices de la anomalía de la TSM en el Pacífico ecuatorial (1979-1993).....	57
Fig. 18. Corrientes. Caudales 1986-87 (promedio base 1905-80).....	59
Fig. 19. Corrientes. Caudales 1986-87 (promedio base 1981-90).....	60
Fig. 20. Corrientes. Promedios decádicos de caudales 1905-90.....	61
Fig. 21. Pilcomayo. Caudales 1986-87.....	61
Fig. 22. Posadas. Caudales 1986-87.....	62
Fig. 23. Posadas. Precipitación 1986-87.....	63
Fig. 24. Formosa. Precipitación 1986-87.....	63
Fig. 25. Corrientes. Precipitación 1986-87.....	64
Fig. 26. Resistencia. Precipitación 1986-87.....	64
Fig. 27. Paraná. Precipitación 1986-87.....	65
Fig. 28. Promedio de la ROL, diciembre 1986-febrero 1987.....	65
Fig. 29. Anomalías de la ROL, diciembre 1986-febrero 1987.....	66
Fig. 30. Corrientes. Caudales 1991-92.....	67
Fig. 31. Posadas. Caudales 1991-92.....	67
Fig. 32. Pilcomayo. Caudales 1991-92.....	68
Fig. 33. Posadas. Precipitación 1991-92.....	69
Fig. 34. Formosa. Precipitación 1991-92.....	69

Fig. 35. Corrientes. Precipitación 1991-92 .....	70
Fig. 36. Resistencia. Precipitación 1991-92 .....	70
Fig. 37. Paraná. Precipitación 1991-92 .....	71
Fig. 38. Anomalías mensuales de la precipitación (en porcentajes) para América del Sur (setiembre 1991-junio 1992).....	73
Fig. 39. Distribución de ocurrencias de precipitación típica.....	72
Fig. 40. Corrientes. Caudales 1988-89.....	76
Fig. 41. Posadas. Caudales 1988-89 .....	76
Fig. 42. Pilcomayo. Caudales 1988-89.....	77
Fig. 43. Posadas. Precipitación 1988-89 .....	78
Fig. 44. Formosa. Precipitación 1988-89 .....	79
Fig. 45. Corrientes. Precipitación 1988-89.....	79
Fig. 46. Resistencia. Precipitación 1988-89 .....	80
Fig. 47. Paraná. Precipitación 1988-89 .....	80
Fig. 48. Anomalías mensuales de la precipitación (en porcentajes) para América del Sur (setiembre 1988-febrero 1989).....	82
Fig. 49. Anomalías de la presión en Darwin (1882-1990).....	83

Tabla I. Principales impactos del ENOS de 1982-83 .....	25
---	----

#### APENDICE

Fig. 1. Fases del ciclo ENOS.....	94
Fig. 2. Anomalías de la TSM observadas y pronóstico de 12 meses de anticipación según Cane y Zebiak para diciembre de 1991.....	95
Fig. 3. Predicción de anomalías de la TSM según el National Meteorological Center para setiembre de 1993-mayo de 1994.....	97

## 1. INTRODUCCION

Los eventos oceanográficos de **El Niño** y los fenómenos atmosféricos a ellos vinculados, conocidos en conjunto como la **Oscilación del Sur**, han sido objeto de gran atención por parte de la comunidad científica, en especial oceanógrafos y meteorólogos. Sin embargo, en los últimos años ha dejado de ser considerado un problema de interés exclusivamente científico para tomar dominio público y encontrarlo en la prensa e incluso en la conversación cotidiana ("Dicen que la corriente de El Niño es la responsable", Clarín, 2/6/92; "Un Niño aguló las vacaciones", Clarín, 22/1/92; "El Niño no tiene la culpa", Página 12, 10/3/92).

Un fenómeno de El Niño implica fundamentalmente el desarrollo de una corriente cálida en las costas de Perú y Ecuador que provoca una disminución en la surgencia de aguas frías típica de estas costas y sustento de una gran diversidad biológica. Antes de 1972, las preocupaciones por los impactos de este evento se limitaban a América del Sur, especialmente en Perú, debido a la drástica reducción de la pesca y en la producción de guano. Durante los años de El Niño también se producían otros impactos locales: lluvias torrenciales en zonas desérticas, aludes, inundaciones, destrucción de infraestructura, desaparición de especies de peces. En síntesis, se podría decir que El Niño era considerado como un fenómeno local y con impactos locales.

El evento de 1972-73 marcó el comienzo de una nueva etapa en el estudio de El Niño. En estos años, además de producirse el mayor colapso de las pesquerías de anchoveta de Perú (agravado también por la sobrepesca), se registraron grandes sequías, inundaciones y huracanes en distintos lugares del mundo. Estos fenómenos físicos fueron atribuidos a El Niño y a partir de este momento la comunidad científica intensificó su interés por la comprensión de este fenómeno.

---

Actualmente, el concepto de El Niño está acompañado por el de la Oscilación del Sur (ENOS) englobando los cambios oceánicos y atmosféricos en el océano Pacífico. El estudio del ciclo del ENOS condujo a la identificación de eventos "cálidos" (El Niño) y "fríos" (La Niña) y de anomalías climáticas dentro y fuera de los trópicos que aparentemente se producen durante los eventos cálidos. Es decir que estas anomalías estarían correlacionadas o conectadas ("teleconectadas") a los eventos ENOS. Como ejemplo se pueden mencionar las sequías en Australia, Indonesia, noreste de Brasil, sur de África; inundaciones en Perú, Ecuador, noreste de Argentina y sur de Brasil; e inviernos cálidos en el este de Canadá (Glantz, 1991).

Después del episodio ENOS de 1982-83 (el mayor del siglo y con graves consecuencias en numerosas regiones) se profundizó el interés en las teleconexiones asociadas a este fenómeno, sobre todo en las referentes a regiones extratropicales. Además, este evento fue el más analizado y a partir del cual se abrieron nuevas perspectivas de investigación. Por otro lado, los adelantos en la tecnología para las observaciones del océano y la atmósfera posibilitaron la recopilación de gran cantidad de información que antes no estaba disponible. Hoy en día, se acepta que el ENOS es un fenómeno a escala global que desencadena serios impactos para las sociedades de muchas partes del globo.

Entre las anomalías climáticas que se han asociado al ENOS se mencionan las inundaciones en el sur de Brasil y noreste de Argentina. Las grandes inundaciones producidas en la cuenca del Paraná durante 1982-83 motivaron a la comunidad científica argentina a preocuparse por dicha vinculación (Ereño y Valdés, 1984; Vargas, 1987; Lucero, 1987; Compagnucci y Vargas, 1993). El presente trabajo aspira a ser un aporte más al estudio de la posible relación entre el fenómeno de El Niño y las crecidas extraordinarias en el curso medio del río Paraná para lo cual se estudiarán los casos de

---

episodios El Niño y La Niña posteriores a 1983. Se concentrará exclusivamente en el fenómeno climático detonante de un desastre para la sociedad (inundaciones) y no en el análisis del desastre en sí, que requeriría un tratamiento totalmente distinto y puede ser objeto de futuras investigaciones.

La importancia de la comprensión del ENOS y las teleconexiones a él asociadas reside en que puede proveer una herramienta de predicción que ayudaría a mitigar los impactos socioeconómicos de las anomalías climáticas. Este fenómeno natural puede desencadenar situaciones de catástrofe en las sociedades, pero hay que aclarar que de ninguna manera se puede establecer una relación causal y simplista, como si la naturaleza tuviese toda la culpa de los males que padece la sociedad. Hay muchos factores de índole político, social y económico que determinan el grado de vulnerabilidad de una sociedad ante los embates naturales y hacen que un evento de orden natural resulte en un proceso catastrófico (Caputo et al. 1985).

En el primer capítulo de este estudio se hace una caracterización general del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, describiendo los principales mecanismos que conducen la variabilidad interanual del sistema acoplado atmósfera-océano en el Pacífico tropical. Se menciona el caso de El Niño de 1982-83 no sólo por ser el más intenso del siglo sino por haber llevado a la comunidad científica a revisar los conocimientos que hasta ese momento se tenían del fenómeno. En segundo lugar se trata el tema de las teleconexiones asociadas al ENOS y las anomalías climáticas a escala planetaria. Por último una revisión bibliográfica sobre los trabajos que abordan la posible vinculación entre el ENOS y las anomalías de la precipitación en nuestro país.

El análisis de los episodios El Niño y La Niña posteriores a El Niño de 1982-83 y su posible relación con las crecidas del río Paraná en su curso medio se lleva a cabo

en el capítulo 2. Para ello se describen primeramente las condiciones hidrológicas y pluviales medias de la zona de estudio y se presenta una reseña de las crecidas históricas del río Paraná. Luego se procede a hacer el estudio del comportamiento de río en los años de El Niño (1986-87 y 1991-92) y de La Niña (1988-89), previamente identificados en base a los indicadores Índice de Oscilación del Sur y anomalías de la temperatura de la superficie del mar. Finalmente se hace un análisis sobre las variaciones de los fenómenos El Niño a lo largo del siglo, demostrando que el período considerado en este estudio (última década) forma parte de un nuevo escenario que tiene lugar a partir de la década del '70.

En las conclusiones se resumen los resultados del análisis realizado y se efectúan algunas consideraciones de interés para encarar futuros estudios dentro de este campo de teleconexiones de anomalías climáticas. Se agrega además un apéndice informativo referente a la predicción de El Niño.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. El Fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENOS).

Este capítulo tiene por objeto hacer una descripción general del fenómeno de El Niño y su conexión con la Oscilación del Sur. En segundo lugar, se hablará de las teleconexiones asociadas a El Niño y por último, se presenta una revisión bibliográfica de los estudios sobre la posible vinculación entre este fenómeno y las anomalías de la precipitación en Argentina. Para ello se ha trabajado con información secundaria, consistente en bibliografía especializada sobre el tema, si bien la misma es cuantiosa, se ha hecho una selección de la existente en el país. Por otra parte, la mayoría de los trabajos son muy específicos, y estudia al fenómeno desde un sólo punto de vista, es decir, el oceanográfico o el meteorológico. Por ello se eligieron los estudios más generales y se trató de integrar ambos enfoques en un discurso simple, que pueda ser comprendido por gente de diversas disciplinas.

"El Niño" era el nombre que aplicaban los pescadores a la aparición anual de aguas cálidas a lo largo de las costas de Perú y Ecuador hacia la época de Navidad (de allí su denominación, por el Niño Jesús). En estas costas, las aguas superficiales son bastante frías en comparación con las aguas ecuatoriales típicas (Fig. 1). Esto ocurre por acción de la corriente fría del Perú o de Humboldt, que transporta aguas subantárticas. Los vientos alisios del sudeste, influidos por la cordillera de los Andes, fluyen paralelos a la costa y ayudan al transporte de la corriente costera<sup>1</sup> del Perú hacia el Norte la que, por efecto de la fuerza de Coriolis se va desplazando hacia el oeste alejándose de la costa. El vacío es entonces ocupado por aguas subsuperficiales que ascienden dando origen al

---

<sup>1</sup> Dentro de la corriente de Perú se distinguen dos lenguas bien diferenciadas: una pegada a la costa o corriente costera y otra mar adentro o corriente oceánica que llega hasta el golfo de Guayaquil y vira hacia el oeste (Valdez y Ereño, 1984)

fenómeno de surgencia o afloramiento típico de las costas occidentales de los continentes. El agua surgente es rica en nutrientes, principalmente fosfatos y nitratos que alimentan el fitoplancton y en última instancia sustentan las pesquerías de anchoveta, una de las más importantes del mundo.



Figura 1. Temperatura de la superficie del mar en el Atlántico y el Pacífico tropical para el mes de febrero.(Fuente: Valdéz y Ereño, 1984)

Anualmente en la época de Navidad se desarrolla una corriente cálida que desplaza las aguas frías hacia el sur y reduce la surgencia; como consecuencia, la pesca

---

disminuye levemente. El calentamiento no se extiende más allá de los 6°S y generalmente se disipa hacia marzo o abril. Sin embargo, a intervalos irregulares se produce una versión catastrófica de El Niño. Este es mucho más extenso, intensivo y prolongado en el tiempo. Las temperaturas de la superficie del mar (TSM) se elevan a lo largo de toda la costa de Perú y en el Pacífico ecuatorial central y oriental. Las temperaturas pueden permanecer altas por más de un año y conducen a la mortalidad masiva de la anchoveta y de las aves guaneras que de ella se alimentan, con graves consecuencias en la economía local. El impacto de los eventos a partir de 1970 sobre la anchoveta ha sido catastrófico: la captura anual cayó de más de doce millones de toneladas en 1970 a menos de medio millón en 1983 (Ramage, 1986). En la comunidad científica, actualmente el término "**El Niño**" se aplica en general sólo a estos eventos de gran intensidad más que al leve calentamiento anual (entre 1 y 2°C) de la superficie del mar. En promedio, este episodio ocurre cada 4 años, pero el intervalo entre varios sucesivos suele variar entre 3 y 7 años.

Existen suficientes similitudes entre los diferentes eventos como para justificar un nombre común y la emergencia de un modelo conceptualmente útil del típico El Niño. Sin embargo, difícilmente se producen dos eventos exactamente iguales con respecto a su amplitud, aparición, características espaciales y consecuencias biológicas.

El interés en el fenómeno de El Niño se intensificó con el descubrimiento de que forma parte de un patrón global de anomalías en el océano y la atmósfera; en efecto, El Niño ocurre a intervalos irregulares en conjunción con la **Oscilación del Sur**, un vaivén de la presión atmosférica entre el Pacífico tropical oriental y occidental y que trae aparejadas variaciones climáticas a escala global (Ramage, 1986). Si bien tanto El Niño como la Oscilación del Sur eran conocidos desde el siglo pasado, su conexión fue descubierta recién en la década del '60 por Bjerknes. Desde entonces se acepta que el ciclo **El Niño - Oscilación del Sur (ENOS)** implica un acoplamiento esencial entre la

atmósfera y el océano, en el cual cambios en los vientos producen modificaciones oceánicas y variaciones en la TSM tropical afectan la circulación atmosférica. El Niño representaría entonces a la componente oceánica del evento ENOS. Los términos "El Niño", en su sentido amplio descrito más arriba, y "ENOS", serán utilizados indistintamente a lo largo del trabajo.

### ***2.1.1. Hacia la conexión entre El Niño y la Oscilación del Sur***

Los primeros en mencionar la Oscilación del Sur (OS) fueron Hildebrandson en 1897 y Lockyer y Lockyer en 1904. Estos últimos verificaron la existencia de un vaivén de la presión entre Sydney y Buenos Aires, estimando su período en 3,8 años. Posteriores estudios de estos autores indicaron que la oscilación tenía una extensión casi global (Valdez y Ereño, 1984). Aproximadamente dos décadas más tarde, Sir Gilbert Walker en 1924 identificó tres grandes oscilaciones atmosféricas: dos regionales, las del Atlántico y Pacífico Norte y una Oscilación del Sur, de escala global cuyos centros primarios de acción residen en los trópicos del Hemisferio Sur. Walker caracterizó la teleconexión<sup>2</sup> de la OS de la siguiente manera: *"Cuando la presión es alta en el océano Pacífico tiende a ser baja en el océano Indico desde Africa hasta Australia, asociada con bajas temperaturas en ambas áreas, y la precipitación varía en dirección opuesta a la presión. Estas condiciones están relacionadas en forma diferente en invierno y en verano y es necesario, en consecuencia, examinar en forma separada las estaciones de diciembre a febrero y de junio a agosto"*.

Las conclusiones de Walker derivaban solamente de la correlación entre presión

---

<sup>2</sup> Las teleconexiones son conexiones a gran distancia de anomalías del tiempo aparentemente desconectadas. (Glantz, 1991)

---

atmosférica, temperatura y precipitación entre estaciones de observación muy alejadas entre sí. Como no tenía hipótesis ni soporte teórico a priori, sus resultados estadísticos fueron, como es de esperarse, muy controvertidos y el fenómeno de la OS fue quedando en el olvido hasta resurgir en la década del '60. (Rasmusson, 1991)

Durante el Año Geofísico Internacional, tuvo lugar un evento ENOS de considerable intensidad en 1957-1958. Este episodio motivó a un grupo de científicos a descifrar las anomalías en la atmósfera y el océano y retomar los trabajos de Walker. Las investigaciones de Bjerknes se basaron en los episodios ENOS de 1957-1958, 1963-1964 y 1965-1966. Estos fueron unos de los primeros estudios en que se utilizaron imágenes satelitales para definir la región de grandes anomalías positivas de la precipitación en las zonas secas del Pacífico Ecuatorial central y oriental durante episodios de elevadas TSM; aspecto del fenómeno que aparentemente Walker no había tomado en cuenta. Bjerknes desarrolló un marco conceptual basado en un razonamiento dinámico y termodinámico en el que las fluctuaciones en la TSM y la precipitación están asociadas a variaciones de escala global en los sistemas de vientos alisios ecuatoriales que, a su vez, reflejan el patrón de variaciones del sistema de presión de la OS (Rasmusson y Wallace, 1983). De esta manera, al enlazar el fenómeno de El Niño con la OS, identificó claramente y por primera vez, el acoplamiento entre océano y atmósfera que domina la variabilidad climática interanual de gran parte del planeta.

### ***2.1.2. La Oscilación del Sur***

La Oscilación del Sur, como ya se mencionara anteriormente, es un vaivén en la masa atmosférica que involucra cambios de aire entre los hemisferios oriental y occidental, centrada en latitudes tropicales y subtropicales con centros de acción sobre

---

Indonesia y el océano Pacífico tropical en el hemisferio Sur.

Lo que hace más interesante al estudio de la OS desde el punto de vista de los pronósticos estacionales son las marcadas fluctuaciones a las que está sometida por períodos anuales y se asocian a desvíos de las condiciones normales de temperatura y precipitación de vastas regiones.

Los centros de acción de la OS están relacionados a través de una circulación zonal en sentido este-oeste a lo largo del ecuador, con convergencia y ascenso en el Pacífico occidental (Indonesia) y subsidencia en el Pacífico oriental. Esta circulación fue llamada por Bjerknes en 1969 "**circulación de Walker**" en honor a Sir Gilbert (Trenberth, 1991).

Para cuantificar la OS, generalmente se utiliza el **Indice de Oscilación del Sur (IOS)** que se define como la diferencia entre las presiones de Tahití (17,5°S; 149,6°W) en el océano Pacífico Sur y Darwin (12,4°S; 130,9°E) en el Norte de Australia. Cuando el IOS es positivo, el gradiente de presión este-oeste se intensifica y en consecuencia los vientos alisios son más fuertes. Esto produce una mayor convección en la región comprendida por Australia, Indonesia, Filipinas y sudeste asiático. Por el contrario, si el índice es negativo, el gradiente este-oeste se debilita así como los alisios; las lluvias disminuyen en el Pacífico occidental y aumentan en el Pacífico central y oriental. Por ejemplo, Walker había notado que las lluvias monzónicas de verano en la India tendían debilitarse cuando el IOS era bajo y a intensificarse cuando estaba alto (Ramage, 1986).

Los eventos ENOS son aquellos en los que se produce la conjunción de un IOS negativo (presión alta en Darwin y baja en Tahití) y un incremento considerable (mayor a 2°C) de la TSM (El Niño). No obstante, pueden producirse, aparentemente, cambios en la TSM sin un vaivén en la OS. En consecuencia, la OS y El Niño no están necesaria-

mente ligados en forma directa, es decir uno a uno, en especial si el Niño se restringe al fenómeno costero. Los eventos ENOS también son llamados "eventos cálidos" por van Loon y Shea debido al calentamiento general no sólo del océano Pacífico sino también de la atmósfera por encima del mismo (Trenberth, 1991).

En la Fig. 2 se observa claramente la relación inversa de las presiones de Tahití y Darwin; identificándose los siguientes eventos ENOS: 1951, 1953, 1957-58, 1963, 1965, 1969, 1972-73, 1976-77, 1982-83 y 1986-87. El ENOS de 1982-83 salta a la vista como el más intenso del siglo.

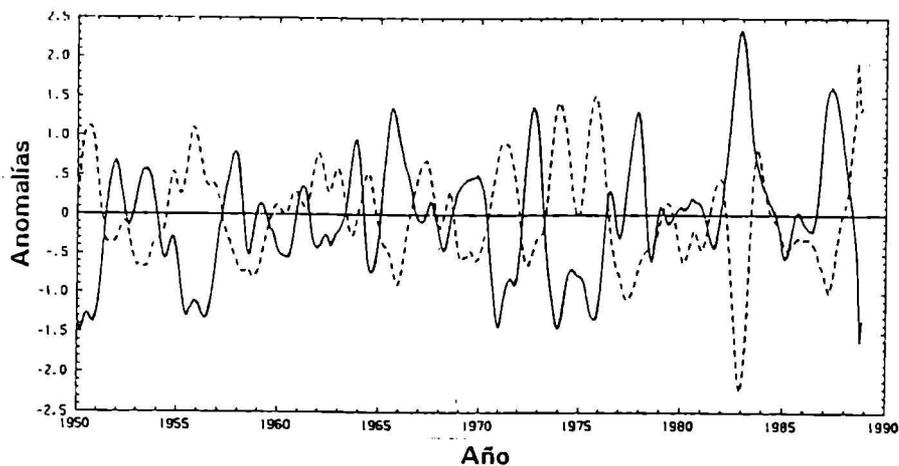


Figura 2. Serie temporal de anomalías en la presión a nivel del mar en Darwin (línea llena) y Tahití (línea punteada) desde 1950 a 1988, suavizada con un filtro de 11 puntos para evitar fluctuaciones de períodos menores a un año. (Fuente: Trenberth, 1991)

La fase opuesta de la OS y El Niño no ha llamado tanto la atención, tal vez porque aparece más como un caso extremo de la situación normal con una lengua de agua fría a lo largo del ecuador, pero el "Evento Frío" de 1988, ligado a grandes sequías en Norteamérica, condujo a la aceptación del término "**La Niña**", introducido por Philander, para las TSM más frías que lo normal en el Pacífico tropical.

Si bien la OS tiene sus centros de acción en los trópicos, sus efectos son globales. Las teleconexiones tienden a ser más intensas en el invierno de cada hemisferio y las secuencias de bajas y altas presiones son acompañadas por distintas ondas en la corriente de chorro (jet stream). En la Fig. 3 se aprecian las relaciones entre las precipitaciones asociadas al ENOS y a La Niña encontradas por Walker y Bliss. De aquí se desprende que durante los eventos ENOS, las islas del Pacífico tropical sur y las zonas secas de Ecuador y Perú, sur de Brasil y noreste de Argentina experimentan lluvias en exceso mientras que Indonesia, Australia, sur de Africa y noreste de Brasil padecen condiciones de sequía.

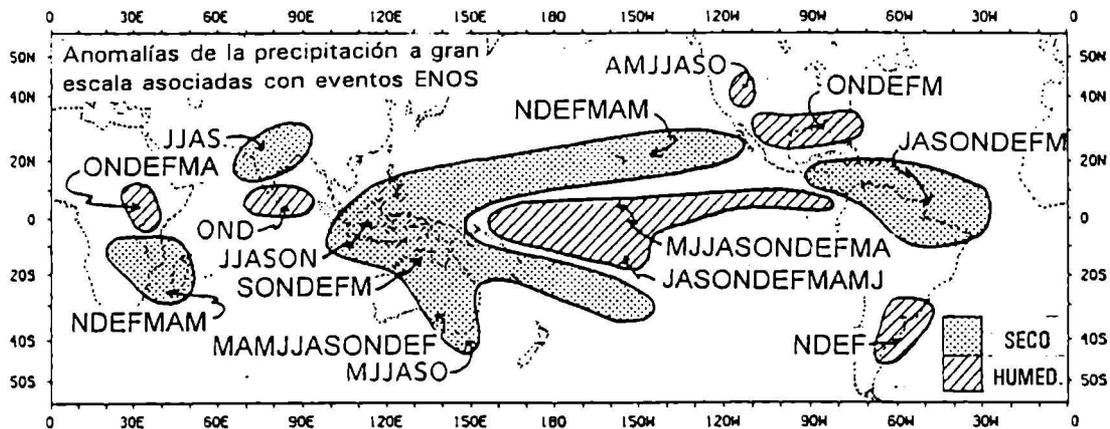


Figura 3. Diagrama esquemático de áreas con precipitaciones asociadas al ENOS. Para cada región se da una lista de meses que fueron más húmedos o secos que lo normal, comenzando en cada caso en el año ENOS. (Fuente: Trenberth, 1991)

### 2.1.3. El ciclo anual medio en el Pacífico tropical.

La existencia del fenómeno ENOS está asociada a las variaciones este-oeste en la TSM en el Pacífico; a la estrecha relación entre las TSM y la presión a nivel del mar y

---

por lo tanto los vientos en los trópicos; y a las conexiones con las principales zonas de precipitación y circulaciones térmicas directas que dominan la atmósfera tropical en escalas de tiempo superiores a unas pocas semanas.

La TSM a lo largo del Pacífico ecuatorial, es cálida en el oeste y fría en el este; esto a su vez refleja la distribución del contenido de calor del océano (Fig 4). Esta distribución se desprende del patrón de vientos y de la intensa radiación solar en los trópicos. En el oeste, los vientos relativamente leves permiten que la radiación solar caliente el océano con una mínima pérdida de calor por evaporación, a su vez las corrientes oceánicas superficiales fluyen hacia esta región conducidas por los vientos alisios del este y provocan la acumulación de aguas y elevación de nivel del mar en ese sector. En el este, los orígenes de las bajas TSM son la corriente de Humboldt y las surgencias costeras en el ecuador y a lo largo de la costa oeste de América del Sur provocadas por los alisios del sudeste. Los movimientos ascendentes asociados a la surgencia elevan la termoclina<sup>3</sup>, acercándola a la superficie mientras que la acumulación de agua en el Pacífico occidental la deprime/hunde. La acción de los vientos da como resultado un desnivel de aproximadamente 60 cm en el Pacífico ecuatorial con una termoclina profunda (100 a 200 m) en el Pacífico occidental y una poco profunda (40 m) en el oriental (Trenberth, 1991). Algunos autores como Cane y Zebiak sostienen que las variaciones en la profundidad de la termoclina dan origen a diferencias en la dinámica de los océanos ecuatoriales, elementos clave en las variaciones ENOS (Cane y Zebiak, 1985).

Los vientos del sur a lo largo de América del Sur y el efecto Coriolis desvían la corriente costera del Perú hacia mar adentro. Las aguas que se alejan de la costa son

---

<sup>3</sup> La superficie de los océanos constituye una capa de espesor variable donde se mezclan las aguas superficiales cálidas y las aguas frías profundas. Por debajo de esta capa de gran mezclamiento se encuentra la termoclina o región de fuertes gradientes de temperatura.

reemplazadas por aguas más profundas y frías (recordemos que la termoclina en esta zona es poco profunda). De la misma manera, los vientos del este inducen la surgencia ecuatorial ya que Coriolis deriva las aguas hacia los polos en ambos hemisferios haciendo que el flujo de superficie sea divergente en el ecuador. Estos son los procesos que mantienen la lengua fría en el Pacífico oriental a pesar del calentamiento por radiación solar. El Pacífico tropical oriental se calienta a lo largo del año pero las variaciones de la temperatura son, básicamente, una consecuencia de la dinámica de todo el Pacífico y no de la termodinámica local. Las variaciones en el flujo de calor en superficie son más una respuesta a los cambios en la TSM que una causa (Cane, 1983).

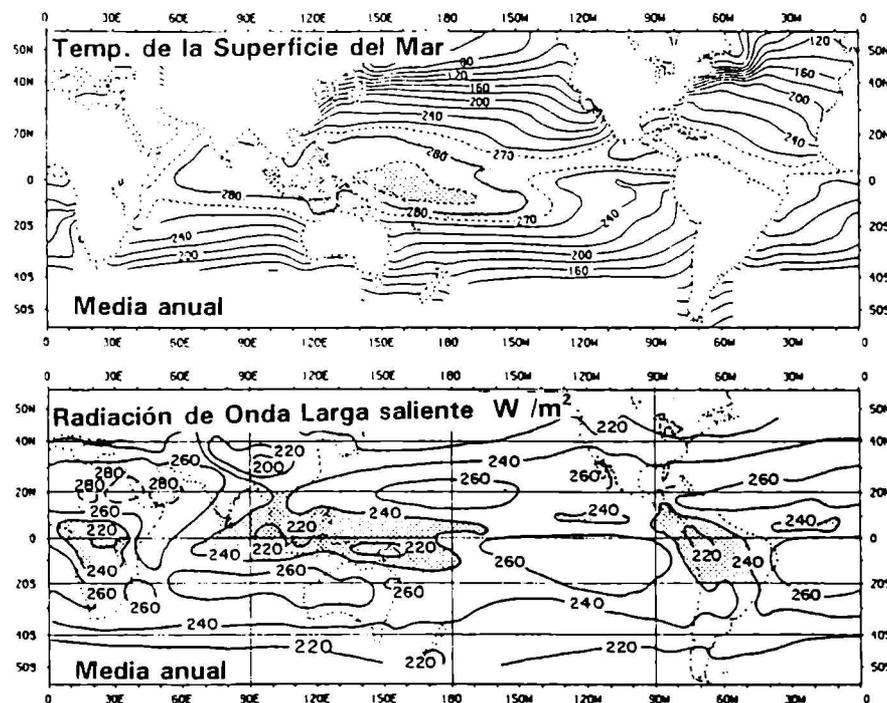


Figura 4. a) TSM medias anuales en °C (x 10). Se sombreadon levemente los valores mayores a 27°C y los superiores a 29°C más fuerte. b) Radiación de Onda Larga (ROL) media, junio 1974-noviembre de 1983, con intervalo entre isólineas de 20 W/m². Se sombreadon los valores menores a 200 W/m² en los trópicos. (Fuente: Trenberth, 1991)

La distribución de los centros de gran convección está determinada en gran parte por el campo de la TSM con la convergencia de los vientos alisios, favorecida por la presencia de aguas cálidas. En consecuencia la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (ZCPS) se ubican preferentemente sobre las regiones con TSM superiores a 27°C (Fig. 5). Como los vientos en las cercanías de las zonas de convergencia son más leves, los flujos de humedad hacia la atmósfera allí son menores. De aquí se desprende que son los vientos alisios los que aportan la humedad que alimenta la convección. En la Fig. 5 también se observa el campo medio de presión a nivel del mar, destacándose las bajas presiones que se forman sobre las aguas cálidas, con los alisios siguiendo el gradiente de presión cerca del ecuador.

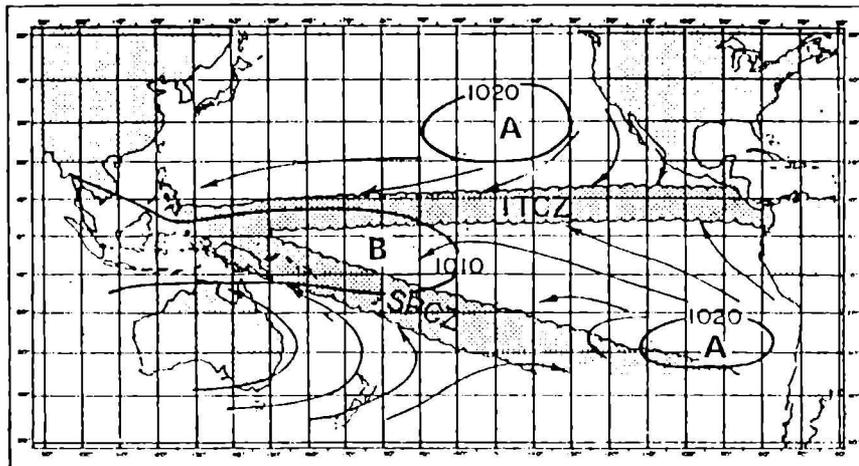


Figura 5. Principales zonas de convergencia en el océano Pacífico, la ZCIT y la ZCPS, junto con las isolíneas de presión media a nivel del mar y los vientos en superficie. (Fuente: Trenberth, 1991)

Para analizar la precipitación en los trópicos se recurre a la medición satelital de la **radiación de onda larga (ROL)**. La ROL representa la radiación saliente de la tierra compuesta por la radiación desde el tope de las nubes y, en ausencia de las mismas, desde la superficie terrestre, por ello sirve como un índice aproximado de la convección

---

en los trópicos. A un bajo valor de ROL - generalmente se mide en Watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ )- corresponden los topes nubosos más altos (gran actividad convectiva) y a uno alto, los desiertos (continentales u oceánicos) y a las nubes bajas (zonas de subsidencia), ver Fig. 4.

Mientras los vientos alisios viajan hacia el oeste siguiendo el gradiente de presión, se van calentando y cargando de humedad al pasar por aguas cada vez más cálidas. Cerca de Indonesia, en el centro de baja presión convergen con los vientos del oeste, se produce entonces el ascenso y condensación, formando grandes nubes que provocan abundantes lluvias en la región. El flujo de retorno hacia el este se produce en la alta tropósfera con descenso en las zonas secas del Pacífico central y oriental. Esta es la circulación que Bjerknes denominó "**de Walker**" pues sostenía que fluctuaciones en la misma inician pulsos en la OS de Walker. Bjerknes también señaló que esta circulación es conducida por el gradiente de la TSM a lo largo del océano Pacífico (Fig 6 a).

La circulación de Walker es parte de una circulación térmica directa bastante compleja, con flujos en todas direcciones. Las células este-oeste no están solamente confinadas al ecuador sino que son de gran extensión y están entrelazadas con la componente norte-sur o célula de Hadley ya que parte del aire se une al flujo que, en la alta tropósfera, se dirige hacia los polos.

Se ha descrito un estado en que los vientos atmosféricos son en gran medida responsables de la distribución de la TSM tropical, distribución que a su vez incide en la determinación de la circulación atmosférica tropical. Esto demuestra que la atmósfera y los océanos están fuertemente acoplados en los trópicos.

---

#### **2.1.4. Variaciones Interanuales**

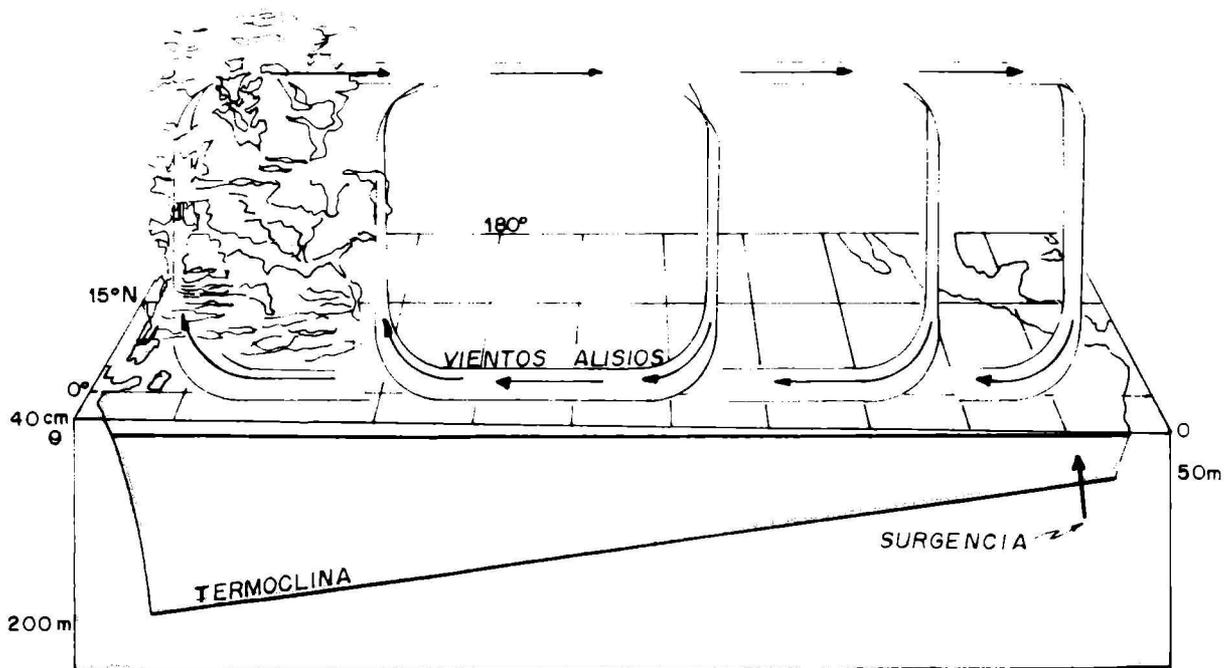
Bjerknes advirtió que el acoplamiento entre la atmósfera y el océano proporciona un sistema de retroalimentación positiva y que las interacciones entre los mismos son la clave de las variaciones del ENOS. Philander resaltó la naturaleza potencialmente inestable de las interacciones aire-mar en los trópicos de tal manera que incluso anomalías leves podrían amplificarse temporal y espacialmente afectando todo el Pacífico tropical y la atmósfera global (Trenberth, 1991).

En las bajas latitudes, el efecto de Coriolis es pequeño y por lo tanto el tiempo de la adecuación del océano a un cambio en los vientos en superficie es de unas pocas semanas o meses. En altas latitudes, en cambio, la respuesta oceánica es mucho más lenta, provocando un desacoplamiento entre la atmósfera y el océano.

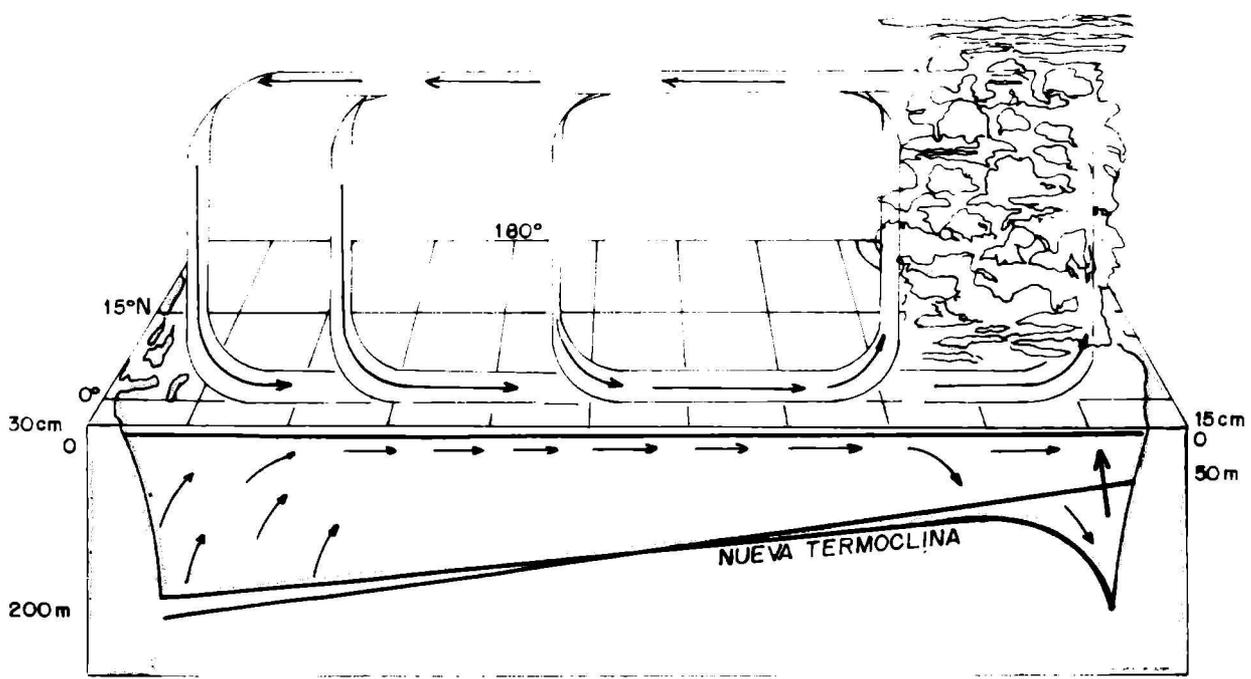
El esquema de circulación ecuatorial puede intensificarse, debilitarse o incluso cambiar su dirección. Por ejemplo, si por cualquier motivo se produce un incremento de la TSM en el este, se reduce el gradiente de temperatura y en consecuencia se debilita la circulación de Walker ya que la atmósfera más cálida y húmeda conduce a una caída de la presión sobre las aguas más calientes. El debilitamiento de los vientos alisios resultante trae aparejado una disminución de las surgencias ecuatoriales y un cambio en las corrientes oceánicas y por lo tanto la advección<sup>4</sup> de aguas cálidas que incrementan aún más la TSM en el este. Los cambios en el gradiente de presión asociados, se manifiestan globalmente como un vaivén de la OS. La presión baja en el Pacífico central y el aire fluye hacia el este desde Australia-Indonesia, por lo que la región de grandes lluvias de Indonesia se desplaza hacia el este, produciéndose sequías en esta última y lluvias

---

<sup>4</sup> advección: transporte por el movimiento del aire, agua u otro fluido. Si bien tiene el mismo sentido general que la convección, se refiere al transporte horizontal en particular.



a -



b -

FIG. 6  
 a - Circulación de Walker en un año normal  
 b - El Niño

---

torrenciales en las islas desérticas del Pacífico central. En la alta tropósfera los vientos cambian su dirección y predominando los vientos que fluyen hacia el oeste para cerrar el circuito. Esto es lo que ocurre básicamente cuando se desarrollan las condiciones de El Niño (Fig. 6b).

En el extremo opuesto, si se intensifican los vientos alisios en el Pacífico tropical oriental, las surgencias y las corrientes ecuatoriales norte y sur son más fuertes. En consecuencia, se produce una mayor acumulación de aguas cálidas, hundimiento de la termoclina y aumento del nivel del mar en el Pacífico occidental mientras que la temperatura en el Pacífico oriental es más baja que lo normal, incrementando de esta manera el gradiente de la TSM y la circulación de Walker. Esto constituye la fase opuesta de la OS, un "evento frío" o "La Niña".

#### **2.1.4.1. El Niño "canónico"**

Si bien todos los Niños han sido diferentes, a mediados de la década del '70 se arribó a una descripción característica del fenómeno conocida como " El Niño canónico" y que resume el conocimiento que se tenía del mismo antes del evento de 1982-1983. Esta descripción o secuencia de anomalías que preceden y acompañan a El Niño, fue el resultado de la composición de varios eventos realizada a partir de las investigaciones de distintos autores: Wyrтки, Rasmusson, Carpenter, Philander.

La descripción canónica de El Niño se basa en el comportamiento de los vientos alisios sobre el Pacífico ecuatorial. Cane (1983) lo sintetiza de la siguiente manera: (Fig. 7)

**Preludio:** Por lo menos 18 meses antes del evento, los vientos alisios del este sobre el Pacífico ecuatorial occidental son más intensos que el promedio. Estos vientos arrastran agua desde el Pacífico oriental hacia el occidental originando un gran desnivel entre el este (bajo) y el oeste (alto). La termoclina en el sector occidental se encuentra más profunda que de costumbre.

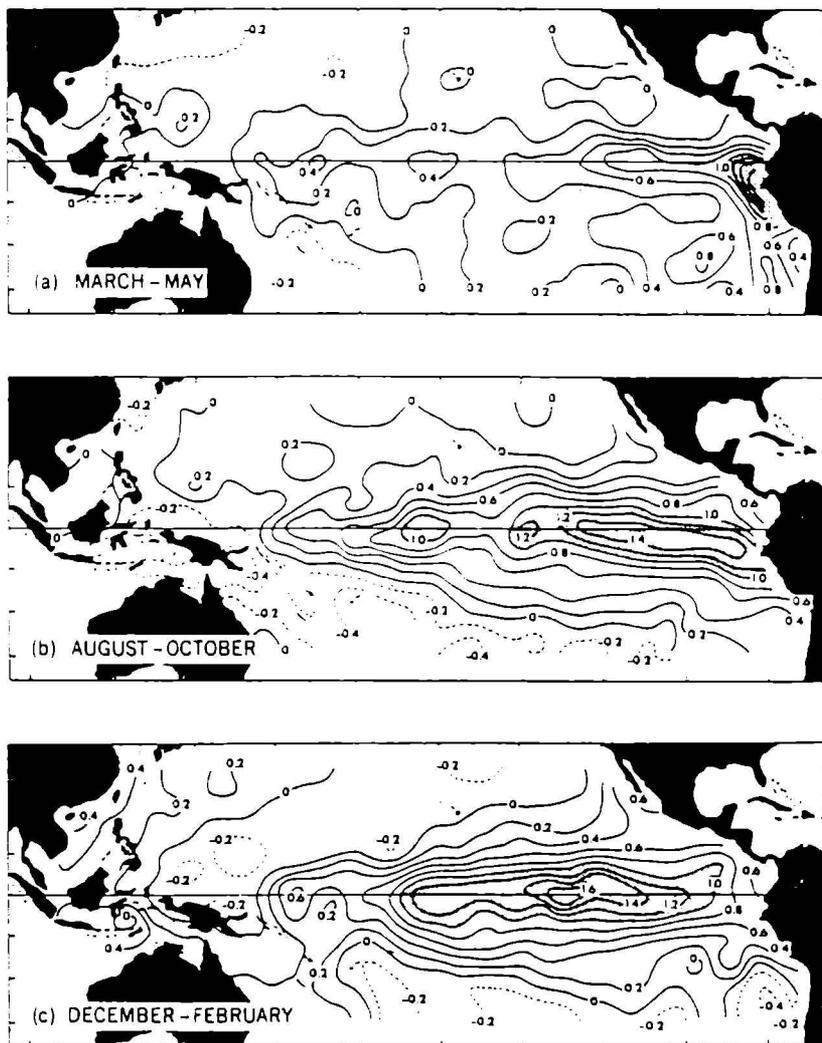


Figura 7. Desarrollo de El Niño Canónico según Rasmusson y Carpenter (1982); a) Marzo-Mayo del año ENOS, "fase pico" a lo largo de la costa sudamericana; b) Agosto-Octubre del año ENOS, "fase de transición" dado que las anomalías se desarrollan en el Pacífico central; c) Diciembre-Febrero del año siguiente a El Niño, "fase madura". Las TSM en el Pacífico oriental descienden en los meses siguientes. (Fuente: Trenberth, 1991).

---

***Iniciación:*** En la primavera (setiembre u octubre) del Hemisferio Sur del año que precede a El Niño, se produce una anomalía positiva en la TSM que se extiende a lo largo del Pacífico Sur entre los 15° y 30°S, extendiéndose hacia el norte en las cercanías del meridiano de 180°. Los alisios comienzan a perder intensidad al oeste de este meridiano y el desnivel en el nivel del mar comienza a disminuir.

***Evento:*** El calentamiento de las aguas en las cercanías de la costa sudamericana comienza en diciembre-enero, intensificándose hacia junio. Durante los primeros meses resulta difícil distinguir a El Niño del calentamiento estacional normal. La anomalía alcanza su máximo en abril, mayo o junio. Al mismo tiempo el nivel del mar se incrementa en América del Sur y la termoclina se profundiza. También existen evidencias de aumento del nivel del mar hasta San Diego, en Estados Unidos. La anomalía de la TSM en las inmediaciones de la línea del cambio de fecha persisten durante todo este período. A lo largo del ecuador desde los 100°W hasta los 170°E se producen vientos anómalos del oeste. Después de aproximadamente 6 meses de que la anomalía en la TSM de la costa alcanza su máximo, se extiende hacia el noroeste y luego hacia el oeste a lo largo del ecuador hasta fusionarse con la anomalía del Pacífico Central.

Los vientos anómalos del oeste asociados a El Niño disminuyen la intensidad de la corriente sud ecuatorial; a su vez el nivel del mar desciende en el oeste y se eleva en el este.

***Fase de Madurez:*** Hay otro calentamiento cerca de la costa que comienza en diciembre y alcanza su pico a comienzos del siguiente año. Sin embargo, esta vez la TSM disminuye abruptamente, llegando a ser más fría que lo normal cuando llega marzo. Las anomalías positivas de la TSM perduran en el Pacífico central y oriental durante los primeros meses del año. Estas desaparecen a medida que las aguas más frías se desplazan hacia el oeste a partir de la costa, alcanzando los 140°W alrededor de junio y más tarde el meridiano de cambio de fecha. Durante este período los vientos vuelven a su esquema normal y se reestablece la pendiente hacia el oeste del nivel del mar.

Esta secuencia se basaba fundamentalmente en las descripciones de la OS de Bjerknes y en un modelo de circulación oceánica desarrollado por Klaus Wyrtky de la Universidad de Hawaii en 1975. Se desprendía del estudio de los promedios mensuales de distintas variables tales como la presión atmosférica, la velocidad y la dirección del viento y la TSM medida en varios puntos de Pacífico durante los Niños de 1957-58, 1965 y 1972-73 (Ramage, 1986).

La descripción canónica de El Niño se centra en el comportamiento de los vientos alisios en el Pacífico tropical. Como los alisios del sudeste son conducidos por el gradiente de presión entre el sistema de alta presión del Pacífico Sur y el sistema de baja presión de Indonesia - Australia, el IOS, que da cuenta de la diferencia de presión entre dichos sistemas, puede considerarse como una medida de la intensidad de los alisios. Cuando el índice es alto, el gradiente es grande y los vientos intensos.

De acuerdo al modelo de Wyrtky, El Niño es precedido por una caída brusca del IOS y el correspondiente colapso de los alisios en el Pacífico Occidental. Entonces el agua acumulada en el Pacífico occidental se desplaza en un flujo de retorno hacia el este, elevando el nivel del mar al oriente del meridiano de  $180^\circ$ . Este flujo toma la forma de ondas subsuperficiales conocidas como **ondas de Kelvin** que viajan a lo largo del ecuador alcanzando las costas de América del Sur en sólo dos o tres meses. Las ondas de Kelvin tienen dos efectos: generan corrientes anómalas del oeste y profundizan la termoclina en el este. Estos efectos tienden a calentar las aguas, primero, por el arrastre de aguas cálidas desde el oeste y, segundo, por impedir la surgencia de agua fría que está por debajo de la termoclina. Este último es el de mayor importancia, particularmente frente a la costa sudamericana donde la termoclina es normalmente poco profunda; aunque los alisios del sudeste no desaparecen y continúan provocando la surgencia, las aguas que afloran ya no son frías sino cálidas y pobres en nutrientes. Este modelo, importante para

---

su época, ha guiado la mayoría de las investigaciones sobre el fenómeno permitiendo avances significativos hasta 1982.

Otro trabajo digno de mención es el de Eugene Rasmusson y T.H. Carpenter del Climate Analysis Center de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de Estados Unidos, quienes realizaron una composición de las cartas de anomalías para todos los Niños entre 1949 y 1973 para llegar al fenómeno ENOS característico (ver Fig. 7). Estos autores reforzaron la hipótesis de Wyrтки de que alisios intensos en el Pacífico Occidental unos meses antes de que comience El Niño es uno de los precursores más significativos del fenómeno.

#### ***2.1.4.2. El evento ENOS de 1982-1983***

A pesar de que cada uno de los eventos El Niño no respetó al pie de la letra la secuencia canónica, aquellos que fueron estudiados en profundidad parecían tener bastantes similitudes y signos precursores como para pensar en la probabilidad de predecir los Niños futuros. Como se ha mencionado en el punto anterior, Wyrтки en particular sostenía que antes de que los vientos alisios se debilitaran precediendo un Niño, el IOS debía elevarse y los alisios intensificarse para acumular más agua en el Pacífico Occidental. Su modelo estaba basado principalmente en El Niño de 1972-73, que cumplía verdaderamente todas las condiciones que él había especificado.

Ya antes de que Rasmusson y Carpenter desarrollaran su composición, El Niño de 1976-77 -o en todo caso, su ausencia en 1975- hizo que la intensificación de los alisios pasara de ser una condición suficiente a ser una necesaria para este fenómeno. En 1974 el IOS se elevó y los alisios se intensificaron, por lo que se esperaba un Niño para 1975,

---

pero no se desarrolló ninguna anomalía. Sin embargo, después de una leve caída, el índice se elevó nuevamente para caer en 1976, produciéndose un Niño moderado.

El Niño de 1982-83 dañó aún más la reputación de los vientos alisios intensos como elemento de predicción. Hacia fines de 1982, el IOS se mantenía en valores normales, es decir, no se produjo una intensificación de los alisios y en consecuencia se pronosticó la no ocurrencia del fenómeno para los meses siguientes. Pero la naturaleza se manifestaría en forma contraria a dicho pronóstico: el IOS comenzó a descender abruptamente en marzo de 1982, alcanzando niveles record en junio. Este Niño fue el más intenso del siglo y también el más drástico considerando sus efectos socioeconómicos. Las pérdidas globales producidas por huracanes, inundaciones, sequías y otras condiciones climáticas adversas se estimaron en 1.300 millones de dólares (Tabla 1).

Ninguno de los signos precursores característicos del Niño estuvo presente a fines de 1981 ni a principios de 1982. El nivel del mar no había aumentado en el Pacífico occidental ni la termoclina estaba más profunda que lo normal. Tampoco se calentaron las aguas en la costa de Sudamérica a comienzos de 1982, pues la TSM en Puerto Chicama, sobre las costas de Perú recién empezó a ascender en setiembre del mismo año (Rasmusson y Wallace, 1983).

El evento de 1982-83 se caracterizó por su aparición tardía con respecto al Niño canónico. Recién entre abril y agosto de 1982, el IOS cayó 3 hectopascales por debajo de su valor normal y en junio los vientos a lo largo del ecuador al oeste de la línea de cambio de fecha se invirtieron y comenzaron a soplar desde el oeste. Como consecuencia, las TSM en el Pacífico oriental se elevaron considerablemente. A diferencia de EL Niño canónico, el aumento de la TSM en el Pacífico central no ocurrió a continuación de las grandes anomalías que se observaban primeramente en la costa de América del Sur. Es

### PRINCIPALES IMPACTOS DEL ENOS 1982-83

Lugar	Fenómeno	Víctimas	Daños
Estados Unidos: 1. Estados Montanos y del Pacífico 2. Estados del Golfo 3. Hawaii 4. Noreste de EE.UU.	Tormentas Inundaciones Huracanes Tormentas	45 muertos 50 muertos 1 muerto 66 muertos	\$1.100 millones \$1.100 millones \$ 230 millones ----
5. Cuba 6. México - América Central 7. Ecuador - Norte de Perú 8. Sur de Perú - Oeste de Bolivia 9. Sur de Brasil, Norte de Argentina, Este de Paraguay 10. Bolivia	Inundaciones Sequías Inundaciones Sequías Inundaciones Inundaciones	15 muertos --- 600 muertos --- 170 muertos 600.000 evacuados 50 muertos; 26.000 sin casa	\$ 170 millones \$ 600 millones \$ 650 millones \$ 240 millones \$3.000 millones \$ 300 millones
11. Tahití 12. Australia  13. Indonesia 14. Filipinas 15. Sur de China 16. Sur de India, Sri Lanka 17. Medio Oriente, principalmente Líbano	Huracanes Sequía, incendios  Sequías Sequías Tiempo húmedo Sequías Frío, nieve	1 muerto 71 muertos, 8.000 sin casa  340 muertos --- 600 muertos --- 65 muertos	\$ 50 millones \$2.500 millones  \$ 500 millones \$ 450 millones \$ 600 millones \$ 150 millones \$ 50 millones
18. Sur de Africa  19. Península Ibérica, Norte de Africa 20. Oeste de Europa	Sequías  Sequías Inundaciones	Enfermedades, hambrunas --- 25 muertos	\$1.000 millomes \$ 200 millones \$ 200 millones

Fuente: National Oceanic and Atmosferic Administration

**Tabla 1.** Impactos mundiales del ENOS de 1982-83, principalmente por sequías e inundaciones. Las pérdidas económicas globales fueron de más de 1.300 millones de dólares (publicado por *The New York Times*, 2 de agosto de 1983).

---

decir, que la progresión principal fue hacia el este y no hacia el oeste como en el modelo típico.

Este cambio en los vientos marcó el comienzo de un período de grandes precipitaciones en el Pacífico ecuatorial central, Ecuador y noroeste de Perú<sup>5</sup>. En cambio, Indonesia, Australia oriental, Melanesia, Sur de India, Sri Lanka y sur de Africa experimentaron una de las sequías más devastadoras de la que se tenga registro.

El desplazamiento de la zona de lluvias hacia el este, los vientos anómalos del oeste y la TSM máxima constituyen los rasgos característicos del evento histórico de 1982-83 (Rasmusson y Wallace, 1983).

El Niño de 1982-83 demostró que era necesario revisar los modelos desarrollados para el estudio y predicción del fenómeno. Los intentos de predecir El Niño en base a signos precursores habían fallado ya que se apoyaban en una serie de datos que no representaba a todos los Niños posibles.

Antes de la década del '80 apenas se podía saber cuándo se estaba desarrollando un fenómeno ENOS. Por otra parte, "la disección de eventos pasados en búsqueda de un común denominador ha resultado en tantas teorías como teóricos pero no ha tenido suerte para predecir eventos inminentes" (Kerr, 1987:1507). Sin embargo, el incremento de observaciones del océano y la atmósfera así como los avances en la construcción de modelos contribuyeron notablemente a la comprensión del acoplamiento océano-atmósfera en el ciclo ENOS y abrieron el camino a los pronósticos de eventos cálidos y fríos con una anticipación que oscila entre 6 meses y un año. Detalles sobre el estado actual del

---

<sup>5</sup> Esto se debe a que, en coincidencia con los aumentos de la TSM en el Pacífico oriental, la ZCIT -que normalmente en esta época del año se encuentra alrededor de los 10° N- se desplazó hacia el sur, cerca del ecuador.

---

conocimiento sobre estos aspectos pueden obtenerse del Apéndice "La predicción de El Niño" al final de este trabajo.

## **2.2. Teleconexiones**

Como se mencionó anteriormente, los eventos ENOS están asociados a grandes anomalías a escala planetaria. Las teleconexiones, precisamente, se refieren a correlaciones simultáneas entre anomalías en los parámetros meteorológicos en "centros de acción" geográficamente distantes. Han sido identificadas por medio de la aparición de procesos geofísicos, de correlaciones estadísticas en tiempo y espacio y del descubrimiento de que muchos procesos atmosféricos se manifiestan en forma de ondas (Glantz, 1991)

Los efectos de las anomalías en la TSM ecuatorial estarían confinados al cinturón ecuatorial de no ser por la rotación de la tierra. Es a causa de esta última que ciertos cambios en la circulación tropical puedan desencadenar un patrón de ondas cuasi-estacionarias, mejor definidas en la alta tropósfera, que ocasionen anomalías sustanciales en la circulación extratropical (Rasmusson y Wallace, 1983). Las intensas precipitaciones en el Pacífico central y oriental producen el calentamiento de la alta tropósfera (cuando el vapor de agua se condensa, libera el calor latente adquirido durante la evaporación). Al producirse una intensificación de la circulación de Hadley, esta energía es transportada desde el ecuador hacia latitudes más altas. A su vez, esta circulación transfiere energía a la corriente en chorro del oeste que rige los sistemas de grandes tormentas en las latitudes medias.

El modelo de anomalías de circulación en la alta tropósfera asociada a los eventos ENOS se ilustra en la figura 8 a. El mismo está basado en la composición de fenómenos

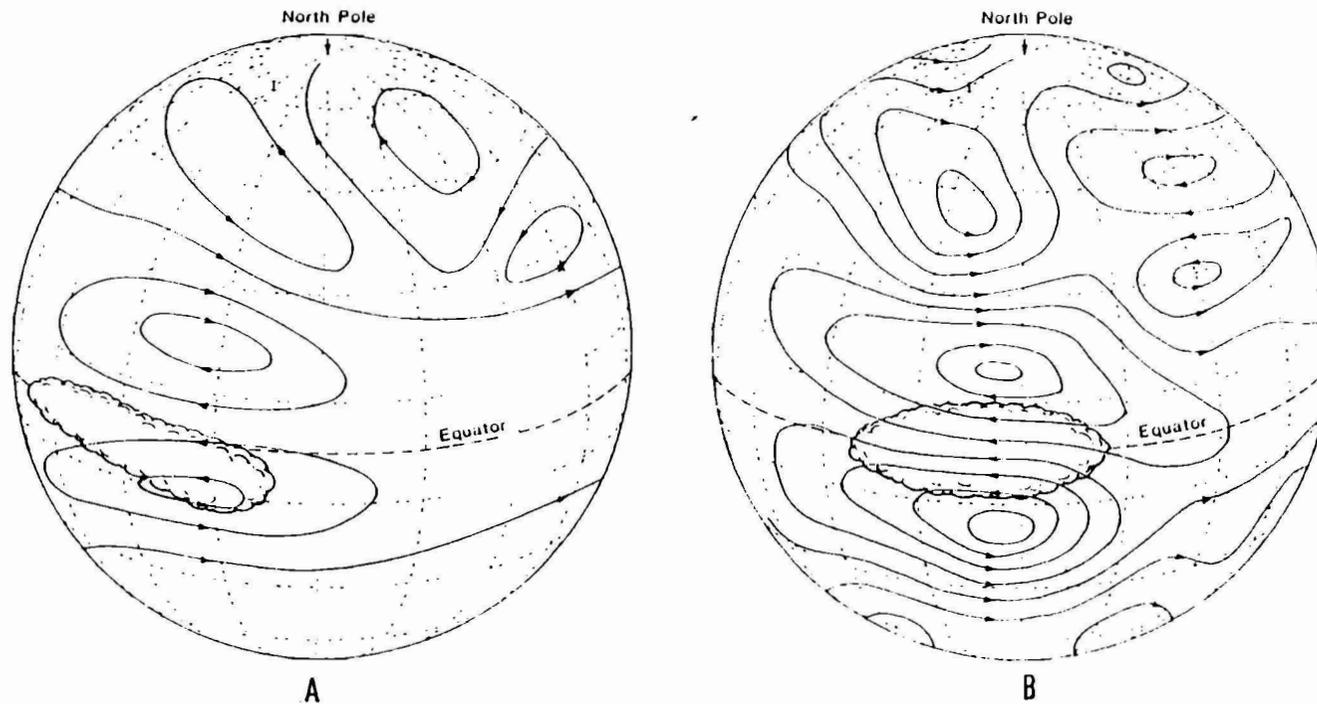


Figura 8. A. Durante la fase madura (diciembre-febrero) de un evento cálido típico, las anomalías atmosféricas en la alta tropósfera (200 mb) incluyen un par de anticiclones al norte y sur del ecuador asociados al corrimiento de las precipitaciones hacia el este. Se producen tres anomalías de la circulación sobre el Pacífico Norte, Canadá y el sur de Estados Unidos-Atlántico oeste.

B. Durante El Niño de 1982-83, las precipitaciones ecuatoriales y las anomalías anticiclónicas se extendieron mucho más al este, mientras que las tres anomalías de circulación extratropical permanecieron aproximadamente como en un evento típico. (Fuente: Rasmusson, 1991).

---

El Niño hasta 1983. El movimiento ascendente en la región de gran precipitación (Pacífico central y oriental) produce divergencia en la alta tropósfera, dando origen a dos anomalías de circulación anticiclónica denominadas por Bjerknes "anticiclones de Hadley": una con rotación en sentido horario al norte del ecuador y otra con sentido antihorario al sur.

Sobre el ecuador, entre ambas células existe un flujo anómalo desde el este mientras que en los flancos polares de las mismas hay vientos anómalos del oeste asociados al incremento de la corriente en chorro subtropical del Pacífico oriental. Hacia el este y el norte de la circulación anticiclónica anómala se observa un tren de ondas aparentes con centros negativos sobre el Pacífico Norte, un centro positivo al oeste de Canadá y otro centro negativo al sudoeste de Estados Unidos. Esta configuración se produce en el invierno del Hemisferio Norte durante un evento ENOS y se conoce como teleconexión Pacífico-Norteamérica (PNA) (Valdéz y Ereño, 1984).

Durante el Niño de 1982-83, las grandes lluvias ecuatoriales y las anomalías anticiclónicas se extendieron mucho más hacia el este mientras que las anomalías de circulación extratropicales permanecieron semejantes a las del modelo típico (Fig. 8 b). Es decir que, si bien las configuraciones de teleconexiones de los ciclos ENOS muestran grandes similitudes, cada evento se aparta, en mayor o menor medida, de una descripción canónica. Actualmente los adelantos en las observaciones tropicales y en el análisis de las mismas, permiten diagnosticar algunas de las diferencias más importantes entre los distintos casos y aproximarse a la naturaleza y causas de las desviaciones respecto de una respuesta idealizada (Rasmusson, 1991).

Son varias las anomalías que han sido relacionadas (es decir "teleconectadas") a los eventos ENOS: sequías en Indonesia, India, Filipinas, Australia, noreste de Brasil,

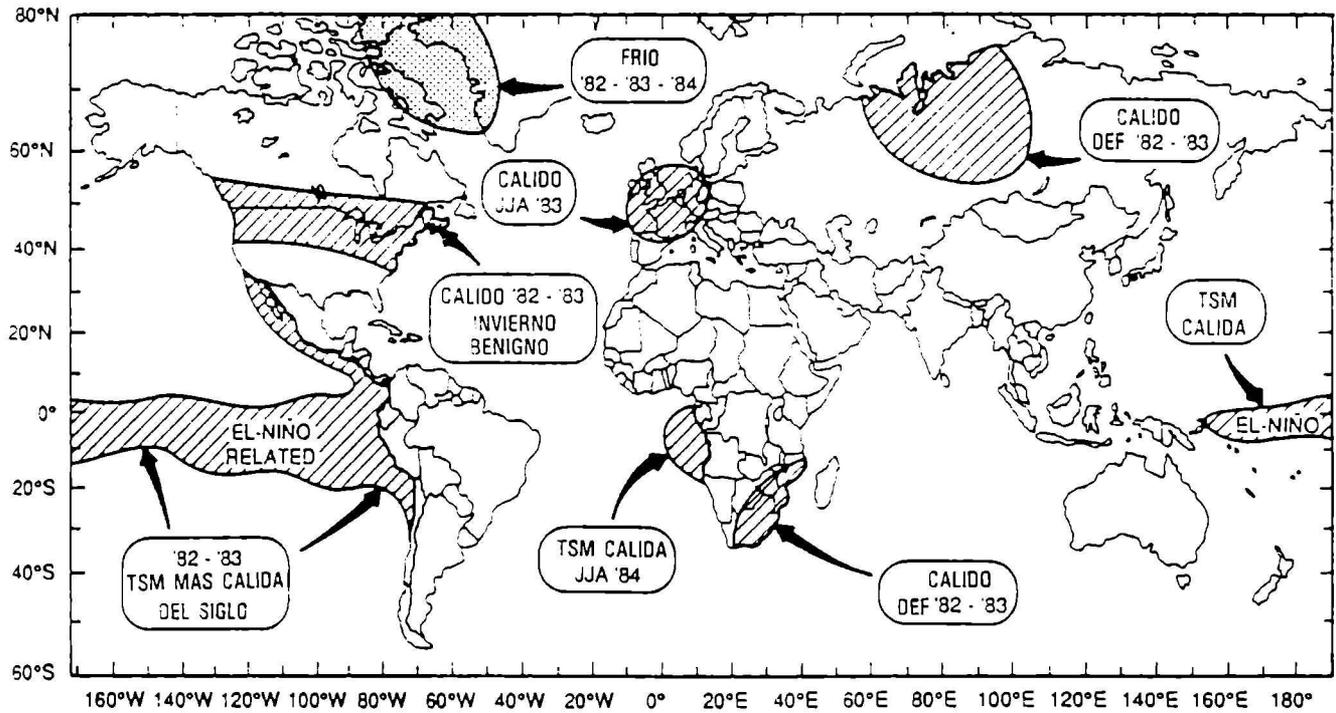
---

Etiopía y sur de Africa; inundaciones en el sur de Brasil, noreste de Argentina, Perú, Ecuador; inviernos cálidos en Rusia y benignos en la región oriental de Canadá; veranos fríos en el norte de China. Algunas de las anomalías en temperatura y precipitación asociadas al ENOS se ilustran en la Fig. 9, a y b.

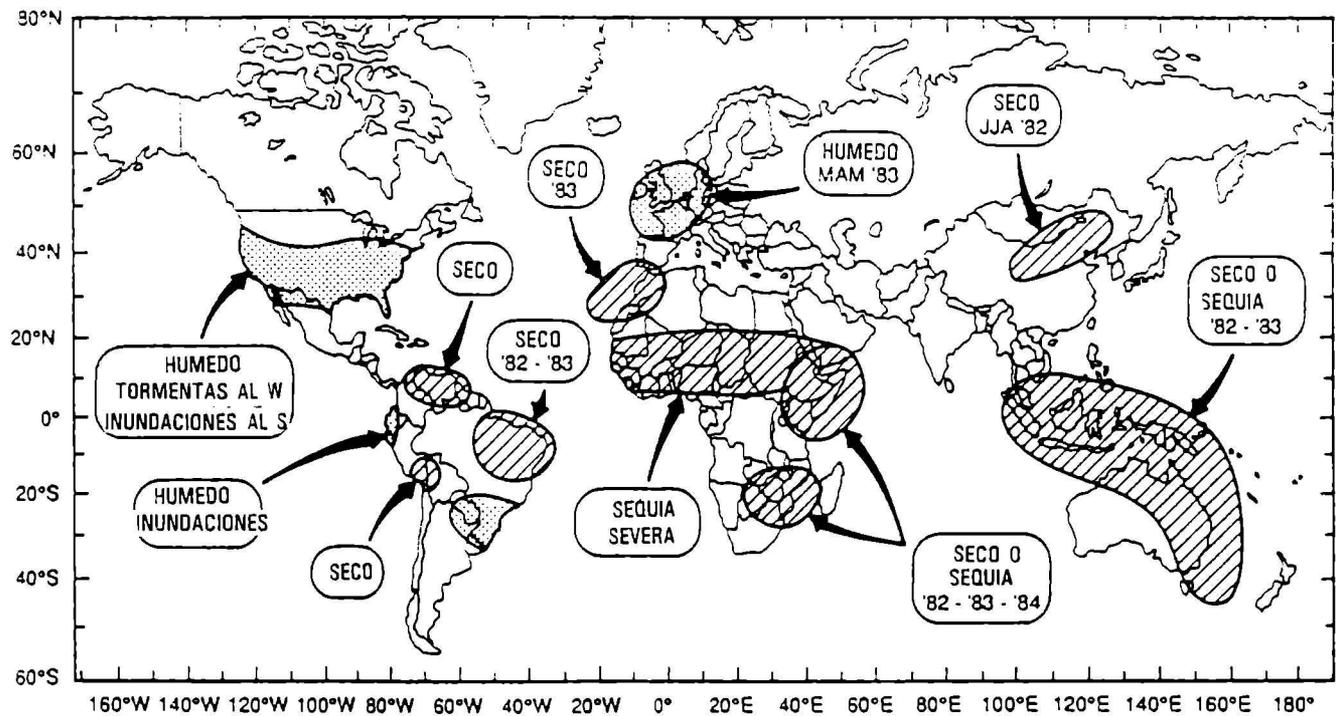
Glantz (1991) menciona en su trabajo que se ha culpado a los eventos ENOS de contribuir al colapso de las pesquerías de anchoveta en Perú y disminución de las pesquerías de salmón en las costas del Pacífico al noroeste de Estados Unidos, así como del brote de varias enfermedades e incidencia de plagas en América del Sur y Australia (aunque no todas estas supuestas asociaciones tengan un soporte científico). Con respecto a estos dos últimos impactos (epidemias y plagas) se debe ser muy cauteloso en este tipo de afirmaciones ya que entran en juego diversos factores inherentes a la sociedad que recibe dichos impactos y que se traducen en el grado de vulnerabilidad<sup>6</sup> de la misma ante el fenómeno natural (ordinario o extraordinario). Por eso no es correcto imputar todos los problemas sociales al ENOS porque se estaría considerando de manera unidireccional el impacto de un fenómeno físico sobre la sociedad tomada como receptor pasivo y sin posibilidades de adaptación a la variabilidad natural (Caputo et al., 1985).

---

<sup>6</sup> Por vulnerabilidad de una sociedad se entiende la capacidad y habilidad socioeconómica y política para absorber los efectos de un acontecimiento extremo (inundación, sequía, avalancha, etc.) y recuperarse de los mismos (Caputo et al., 1985).



a)



b)

Figura 9. Selección de anomalías extremas que persistieron por más de una estación en el período 1982-84. a) Anomalías en la temperatura. b) Anomalías en la precipitación continental (áreas húmedas y secas). (Fuente: Glantz, 1991)

---

### **2.3. Estudio de las posibles vinculaciones entre el ENOS y las anomalías de la precipitación en Argentina (revisión bibliográfica)**

En 1983 el río Paraná experimentó su mayor crecida del siglo, con una altura máxima en Corrientes de 9,02 m y un caudal de 61.000 m<sup>3</sup>/s (Aisiks, 1984). Esta crecida extraordinaria así como sus graves consecuencias socioeconómicas causaron gran preocupación en la comunidad científica tanto natural (Aisiks, 1984; AIREH, 1984) como social (CLACSO, 1985; Caputo et al., 1985; Franchini y Peso, 1983).

Precisamente en esa misma época se producían anomalías climáticas en distintos lugares del planeta y con grandes impactos en la sociedad. El este de Indonesia, región de abundantes lluvias, fue azotado por una sequía devastadora que provocó serios daños a los bosques tropicales y desencadenó varios incendios forestales. Australia oriental sufrió una de las peores sequías de su historia, con degradación de suelos, incendios y la pérdida de millones de cabezas de ganado. Las lluvias en el noreste de Brasil se redujeron durante la estación húmeda (febrero-mayo) a la mitad de su valor normal. En todo el sur y sureste de Asia las lluvias monzónicas de 1982 fueron escasas y se arruinaron muchas cosechas con el consiguiente efecto en el crecimiento económico. En el norte de China se produjeron pérdidas por sequías mientras que en el sur las inundaciones durante el invierno azotaron las cosechas de trigo. La sequía en Africa del sur ocasionó una de las hambrunas más severas. Las regiones costeras de Perú y del sur y centro de Ecuador, normalmente desérticas, recibieron intensas precipitaciones, provocando inundaciones y aludes de barro que arrasaron puentes, caminos, cosechas y poblados. Las pesquerías peruanas, como ya se mencionara, fueron prácticamente diezmadas (ver Tabla 1).

Aunque las anomalías identificadas en la Fig. 3 como asociadas al ENOS no

---

ocurren necesariamente en todos los eventos, el ENOS de 1982-83 provocó alteraciones en casi todas las regiones indicadas. Esta simultaneidad de catástrofes a escala global generó una gran preocupación por el estudio de las teleconexiones asociadas al ENOS y en el caso particular de nuestro país, su vinculación a las inundaciones en la cuenca del Paraná.

Aisiks (1984) caratula a la crecida de 1983 del Paraná como el resultado de una conjunción de factores climáticos anómalos, particularmente el desplazamiento hacia el sur de las precipitaciones, las intensas precipitaciones registradas en 1982 que contribuyeron a saturar la cuenca y las grandes anomalías positivas en las precipitaciones en la cuenca superior de río Paraná. Bajo estas condiciones se produjeron grandes crecidas desde enero a marzo (período normal de crecidas), prolongándose hacia el invierno y registrando su máximo absoluto en julio de 1983. Desde el punto de vista del volumen escurrido, esta crecida fue excepcional con una recurrencia que excede una vez cada 10.000 años. Sin embargo, con respecto a los niveles alcanzados a lo largo del Paraná desde Posadas hasta Rosario, en particular en el tramo entre Corrientes y Santa Fe, alcanzaron valores que, si bien superan las alturas registradas, son inferiores a otros niveles mencionados en las crónicas de la época colonial. En la Fig. 10 se observan las ondas de crecida 1905, 1966, 1977, 1983 y 1992 en Corrientes, destacándose la magnitud de la crecida de 1983. El área inundada fue de 2.350.000 has en las provincias de Corrientes, Chaco, Santa Fe y Entre Ríos y el número de evacuados en las mismas provincias alcanzó de 70.500 (Viladrich et al.II, inédito).

Entre las posibles causas de estas dramáticas inundaciones, Aisiks señala el fenómeno de El Niño, factor que es analizado por Valdéz y Ereño (1984). Los autores, luego de caracterizarlo, consideran el evento de 1982-83 y su posible relación con las inundaciones en la cuenca media e inferior del río Paraná y el curso inferior del Paraguay

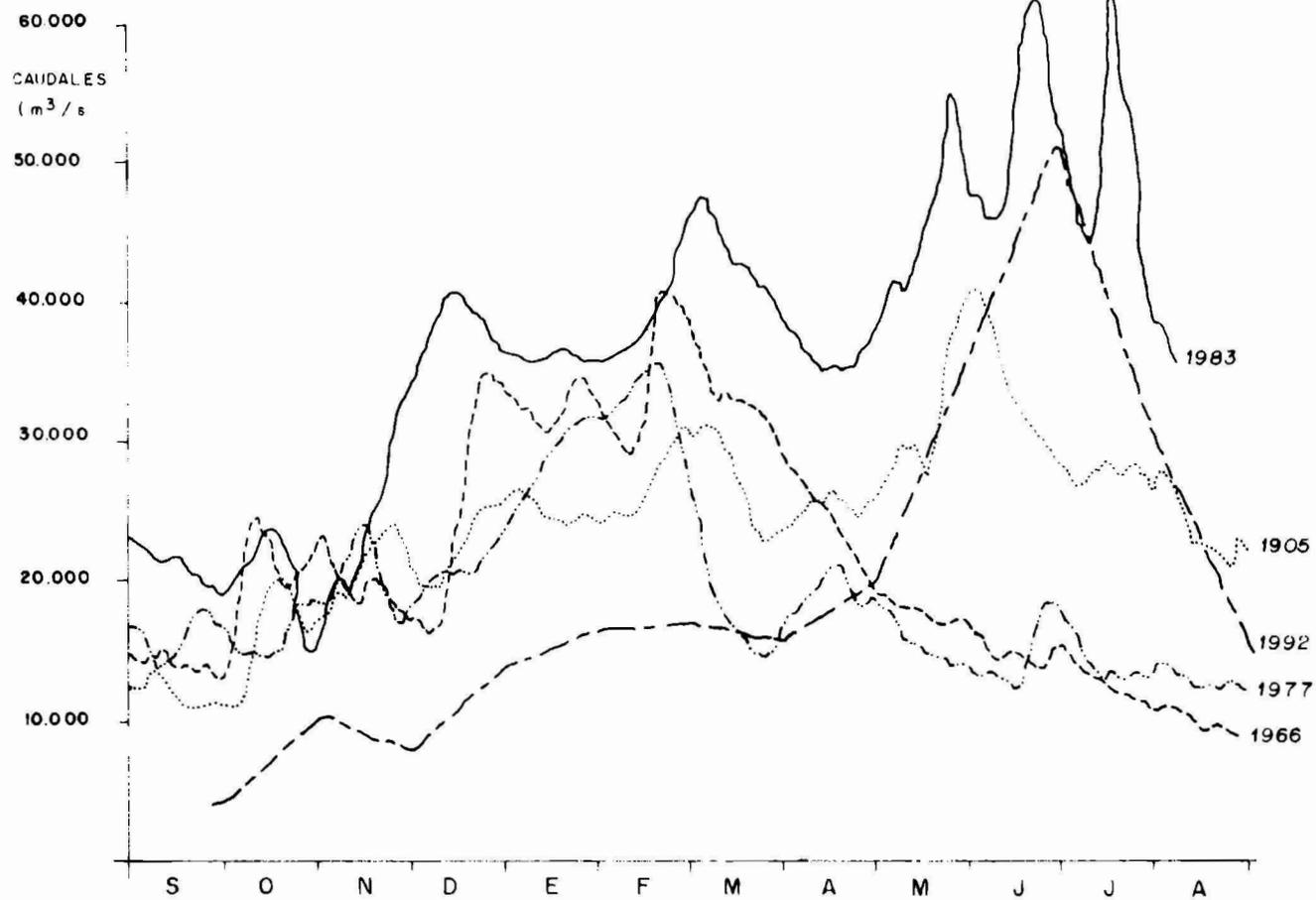


Fig. 10 CORRIENTES  
Crecidas Extraordinarias 1905 - 1966 - 1977 - 1983 - 1992

Fuente: Elaboración propia en base a Aisiks, 1984, e información primaria (1992.)

---

en 1983. Las anomalías registradas en el régimen de precipitación de la cuenca del Paraná se produjeron en forma simultánea con el ENOS, pero para investigar la conexión entre ambos fenómenos Valdéz y Ereño compararon las variaciones de los caudales máximos de cada año del río Paraná en Corrientes con la marcha temporal de los fenómenos El Niño estimados de acuerdo con el grado de intensidad según Quinn (Fig. 11). De allí se desprende que si bien hubo años de concordancia como 1905, 1911, 1926, 1929, 1930, 1965 y 1983, también hubo años de grandes crecidas en el Paraná en 1921, 1946, 1961, 1966, 1970 y 1978 que no ocurrieron en años El Niño. Por otra parte, se produjeron Niños que no tuvieron mayor efecto en la cuenca del Paraná (1918, 1941, 1953, 1957-58, 1972-73).

Otro aporte a la relación entre los eventos ENOS se encuentra en el trabajo de Vargas (1987) sobre las inundaciones en el noroeste de Buenos Aires. Luego de analizar los aspectos físicos relacionados con las inundaciones en esta región, menciona el problema de indagar cuáles son las causas que provocan ciertos extremos climáticos. "El Niño", como manifestación del sistema climático, provoca una serie de alteraciones en la circulación general que afecta diversas regiones, induciendo anomalías en los regímenes pluviales fundamentalmente. Para responder la pregunta sobre si existe una relación entre las lluvias en Buenos Aires y El Niño, relaciona las ocurrencias de lluvia anual mayor y menor que la media para 34 estaciones de la provincia entre 1923 y 1973 y la presencia de eventos ENOS según Rasmusson y según Quinn. La conclusión es que no existe una relación directa y total entre la lluvia media anual y la ocurrencia de El Niño puesto que hay años en los que se registraron lluvias mayores que el promedio sin que se desarrolle este evento. No obstante, Vargas aclara que junto a la tendencia de que cuando se da El Niño se produce un año lluvioso, la ausencia del mismo parece relacionarse con mínimos de precipitación areal.

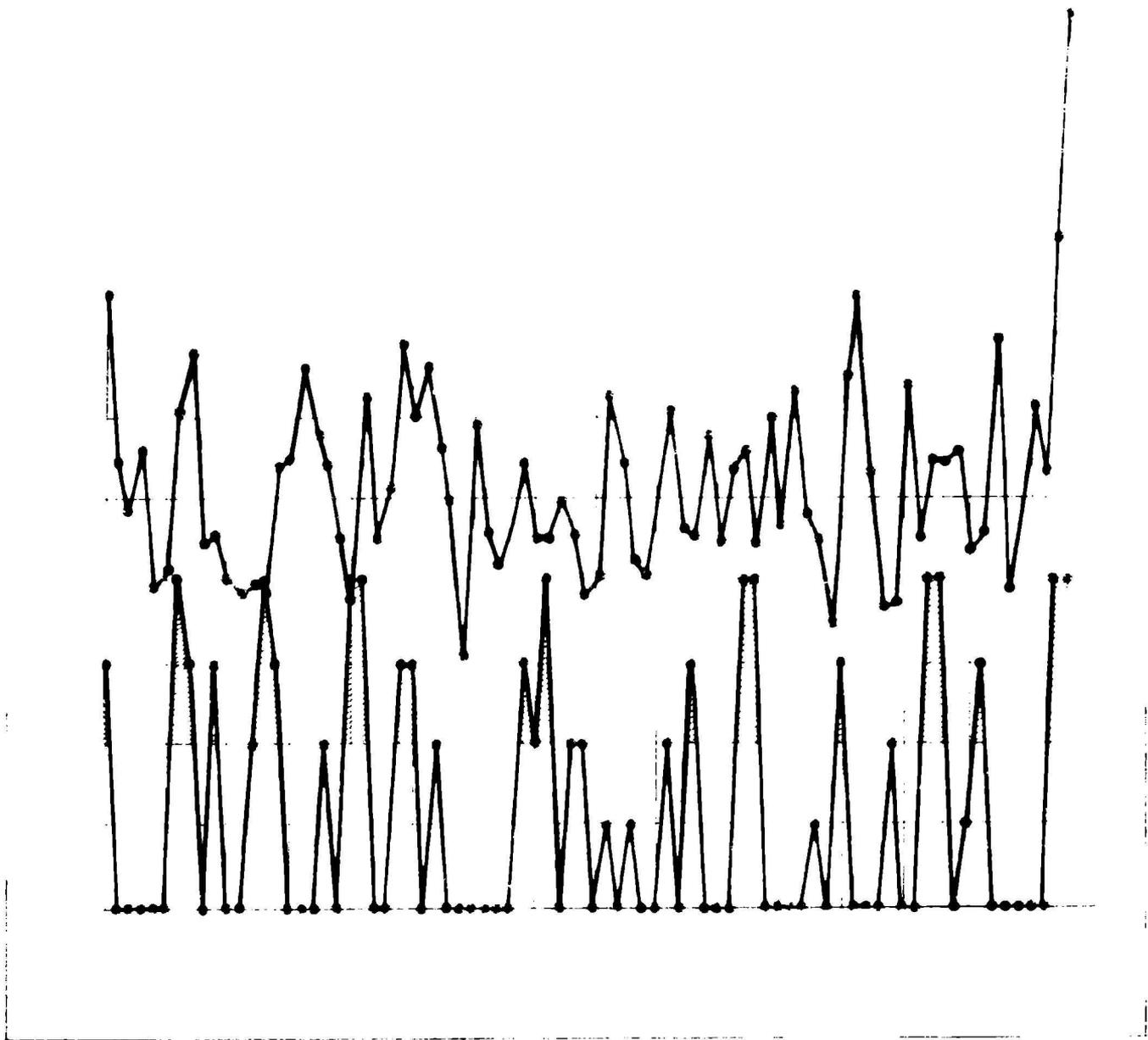


Figura 11. Desviaciones de los caudales máximos del río Paraná en Corrientes y la ocurrencia simultánea de fenómenos El Niño según la clasificación de Quinn. (Fuente: Valdéz y Ereño, 1984).

En 1992, Ereño realiza una nueva contribución con respecto a la posibilidad de vincular las anomalías del clima en la cuenca media y superior del río Paraná con los

eventos ENOS. Para ello analiza el caso de las inundaciones de 1982-83 y lo compara con el estado opuesto, anti-Niño o La Niña, que tuvo lugar durante 1988-89. De esta manera se extendería la vinculación con el fenómeno ENOS a los períodos de sequías anormales. El autor analiza las variaciones de las precipitaciones mensuales durante 1982-1983 y 1987-1989. Para ello trabaja con los totales mensuales de precipitación, las anomalías y las anomalías suavizadas mediante promedios corridos de cinco meses para cinco estaciones de la región NE (Posadas, Resistencia, Corrientes, Paso de los Libres y Ceres). En el caso de 1982-83 se produjeron anomalías positivas en todas las estaciones menos Ceres. Los caudales registrados en Puerto Bermejo (río Paraguay) y Corrientes (río Paraná) en el mismo período se ubican entre los mayores del siglo. Es decir que a los grandes caudales provenientes de la alta cuenca en Brasil se sumó el aporte de las precipitaciones locales agravando la situación. Con referencia a La Niña de 1988-89, se comprueba que en las cinco estaciones consideradas se produjeron registros pluviales por debajo de los valores medios, que abarcaron períodos consecutivos de varios meses. Parecería entonces que existe una relación causal directa entre las anomalías pluviales en la región estudiada y los eventos El Niño y La Niña; pero como también se han producido anomalías en forma aislada, no puede realizarse una afirmación categórica y definitiva.

Otros trabajos, mencionados por Ereño, que estudian la vinculación de anomalías climáticas en Argentina con los eventos ENOS son los de Aceituno (1987), Lucero (1987) y Rasmusson (1987). Salvo el de Lucero, que se centra en la asociación entre el ENOS y la cuenca del río Iguazú, los otros dos estudian la variabilidad climática en América del Sur, es decir en una escala regional. Todos indican que existe gran probabilidad de que se produzcan excesos de precipitaciones en el noreste de Argentina en correspondencia con los eventos ENOS.

Pao-Shin Chu (1991) hace un análisis de las anomalías climáticas en Brasil durante los ENOS. Este trabajo es aplicable a nuestro país ya que las inundaciones que se producen en el noreste argentino son en la mayoría de los casos, el resultado de grandes precipitaciones en la alta cuenca del Paraná (sur de Brasil). Por otro lado, cuando ocurre un evento ENOS, las zonas de gran nubosidad que normalmente se encuentran en latitudes tropicales, se desplazan hacia el sur produciendo sequías en el nordeste brasileño y exceso de precipitaciones en el sureste de Brasil y noreste argentino. Chu realiza una composición de las anomalías pluviales mensuales para distintas estaciones durante los eventos ENOS a partir de 1961 y hasta 1988. Las composiciones abarcan desde enero del año que precede al ENOS hasta diciembre del año posterior. Para el sur de Brasil, representado por Curitiba, arriba a la conclusión de que dos secuencias de abundantes precipitaciones acompañan a un ENOS: la primera ocurre en abril-diciembre durante el evento y la segunda se produce en marzo-julio del año posterior al mismo. El aumento de precipitaciones en esta región podría estar asociado a la ubicación de la corriente en chorro subtropical en relación al ENOS.

En 1992 el noreste argentino padeció nuevamente el flagelo de la inundaciones, con un área inundada de 1.001.900 ha y 72.589 evacuados en las provincias de Corrientes, Chaco, Santa Fe y Entre Ríos (Viladrich et al.II, inédito). Según un informe del Servicio Meteorológico Nacional, las intensas precipitaciones registradas durante el otoño en la región oriental de la República del Paraguay, en los estados brasileños de Mato Grosso do Sul, Paraná y Santa Catarina y en la provincia de Corrientes, provocaron una crecida de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay, cuya culminación se produjo en el mes de junio, alcanzando niveles que se acercaron y, en algunos puertos superaron los records históricos (Gacetilla N° 03/93). La altura máxima del río Paraná en Corrientes fue de 8,64 m y el caudal de 51,000 m<sup>3</sup>/s, constituyendo la segunda crecida del siglo para ese puerto (Fig. 10). "El Niño" comienza a aparecer en la prensa como una de las causas

---

de las inundaciones. Otros factores mencionados como "causa" son la deforestación en Brasil, el manejo de las represas y el ciclo húmedo por el que estaría atravesando nuestro país desde comienzos del '70 (Clarín, 2/6/92; La Nación, 23/6/92; Clarín, 14/7/92). Aquí es conveniente hacer una aclaración similar a la de la página 26. Los artículos periodísticos denotan una relación causa-efecto entre El Niño (o cualquiera de las otras causas mencionadas: deforestación, represas) y la dramática situación de los evacuados, sin tener en cuenta la falta de previsión (sobre todo si se piensa que no se trata de un fenómeno aislado sino más bien recurrente como se explicará más adelante), el deterioro socioeconómico y ambiental, el problema de la vivienda, las medidas paliativas e improvisadas o la ausencia de planes y acciones efectivas por parte de las autoridades responsables. Es decir que un fenómeno natural, extraordinario o normal, puede generar una situación de catástrofe que tiene ese rótulo por la incapacidad de la sociedad (o de sectores de la misma) de absorber, amortiguar o evitar los efectos de dicho evento (Caputo y Herzer, 1987).

A partir de noviembre de 1991 y hasta abril de 1992, el Servicio Meteorológico Nacional comienza a incluir en su Boletín Climatológico informes sobre el estado de evolución del evento ENOS y su impacto en la Argentina. En el boletín de noviembre de 1991, se anuncia el desarrollo de un fenómeno de El Niño y la posibilidad de un aumento en la precipitación en la zona del litoral y provincia de Buenos Aires entre noviembre de 1991 y febrero de 1992 (Gómez y Barnatán, 1991).

Por último, cabe mencionar el trabajo de Compagnucci y Vargas (1993) que estudia la relación entre la precipitación nívea en al Cordillera de los Andes y los eventos ENOS, considerando separadamente El Niño, caracterizado por la TSM y el comportamiento de la Oscilación del Sur, por el IOS. Los autores toman como referencia la precipitación en Santiago de Chile y los caudales de verano del río Mendoza. También

---

analizan los campos de presión de superficie diarios durante el invierno para el período 1972-1983 con el fin de obtener el comportamiento de la circulación atmosférica de superficie. Su conclusión es que la precipitación en Santiago muestra mayor relación con el IOS que con la TSM. Valores positivos del IOS son señal de gran intensidad en el anticiclón semipermanente del Pacífico Sur y baja frecuencia de frentes fríos sobre América del Sur al norte de los 40°S. Los valores negativos del IOS implican disturbios en la circulación de superficie por acción de los frentes fríos. Como consecuencia, se incrementan las precipitaciones en los Andes entre los 30°S y 40°S y los caudales de los ríos de esta región en el verano siguiente.

Resumiendo todo lo anterior, se puede concluir que no son muchos los trabajos que abordan la posible vinculación entre el ENOS y las anomalías climáticas en nuestro país. Esto está asociado al hecho de que la comunidad científica argentina recién comienza a interesarse por la posibilidad de esta relación a partir de 1983. Los estudios realizados son en su mayoría de base observacional, tendientes a correlacionar episodios de excesos pluviales en el noreste argentino, la provincia de Buenos Aires o la Cordillera de los Andes, con la ocurrencia simultánea de fenómenos El Niño. En el caso de sequías, la relación se establece con La Niña. En ningún caso se arriba a una afirmación categórica sobre la existencia de una relación directa pero se verifica una cierta tendencia a registrarse lluvias abundantes durante los eventos ENOS y escasas en su fase opuesta (La Niña).

Los resultados de estos trabajos pueden ser utilizados como base para la elaboración de modelos predictivos con un soporte estadístico y/o físico apropiado. Los esfuerzos deben orientarse hacia la búsqueda de pronósticos confiables de episodios anormalmente húmedos o áridos en esta región con una anticipación de 6 meses o superior.

### **3. LOS EPISODIOS ANOMALOS DE LA TSM EN EL PACIFICO TROPICAL POSTERIORES AL DE 1982-83 Y SU VINCULACION CON LAS CRECIDAS DEL RIO PARANA EN EL NORESTE ARGENTINO**

El objetivo fundamental del presente trabajo es indagar si existe una relación entre las crecidas extraordinarias del río Paraná y el fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur. La causa del por qué indagar sobre esta vinculación radica en que, como se mencionó en el apartado anterior, ya existen algunos indicios de la misma y hay que profundizarlos. Esta investigación pretende ser un aporte más a los trabajos oportunamente citados. El análisis de esta conexión entre El Niño y las crecidas no tiene un interés estrictamente académico. Dado que, como se ha dicho anteriormente, es posible predecir El Niño o La Niña con una anticipación superior a los seis meses y con un grado de certeza relativamente alto, en la medida en que se enriquezca el conocimiento de la vinculación de los regímenes anómalos de precipitación y caudal con El Niño, se estaría realizando un aporte significativo a la posibilidad de prever las inundaciones o sequías con suficiente antelación. En consecuencia, esta temática debería ser de por sí objeto de un estudio exhaustivo.

En este estudio se intentará extender los trabajos mencionados en el apartado 2.3 a los fenómenos ENOS posteriores al de 1982-83, tan recordado por su magnitud como por sus características diferentes a lo que hasta ese momento se consideraba modelo típico. También se mencionará el caso de La Niña (fase opuesta de El Niño y vinculada a las sequías) ocurrido en 1988. Cabe considerar que no existen antecedentes de estudios de la vinculación entre el ENOS y las crecidas/sequías en el noreste argentino para una secuencia de eventos El Niño y La Niña como la tratada en este caso (de 1983 en adelante). En este sentido, puede ser considerado un aporte original. La zona de estudio

---

se limitará esencialmente al curso medio del río Paraná<sup>7</sup>, en las provincias de Corrientes, Chaco, Santa Fe y Entre Ríos hasta la altura de Paraná. De todas maneras, para poder explicar la dinámica del clima y la red hidrográfica del área se debe acudir a otros sectores de la cuenca del Paraná (Fig. 12). La elección de esta zona no responde solamente a los fines de acotar la investigación sino también a que es recurrentemente azotada por el flagelo de las inundaciones causantes de serios daños en las poblaciones ribereñas, altamente vulnerables a los impactos de los fenómenos naturales.

Para facilitar la comprensión de los episodios anómalos, se hará en primer lugar una breve caracterización de las condiciones hidrológicas medias y del régimen de precipitación en la zona de estudio así como una descripción de las crecidas históricas del río Paraná (puntos 3.1 y 3.2). En estos apartados se trabaja fundamentalmente con información secundaria.

Una vez caracterizadas las condiciones hidrológicas y pluviales medias, el análisis se concentrará en los períodos húmedos y secos posteriores a 1983, coincidentes con la ocurrencia de El Niño y La Niña respectivamente. Para ello se emplearán técnicas estadísticas, datos (información primaria) y mapas, de acuerdo a la descripción que se desarrolla en el punto 3.3.1.. Se finaliza con un análisis de las variaciones del fenómeno ENOS desde fines del siglo pasado hasta el momento actual.

---

<sup>7</sup> El río Paraná puede subdividirse en tres tramos: Superior, desde su nacimiento en la confluencia de los ríos Paranaíba y Grande hasta su confluencia con el Paraguay; Medio, hasta el río Carcarañá e Inferior, hasta su desembocadura en forma de delta en el río de la Plata.

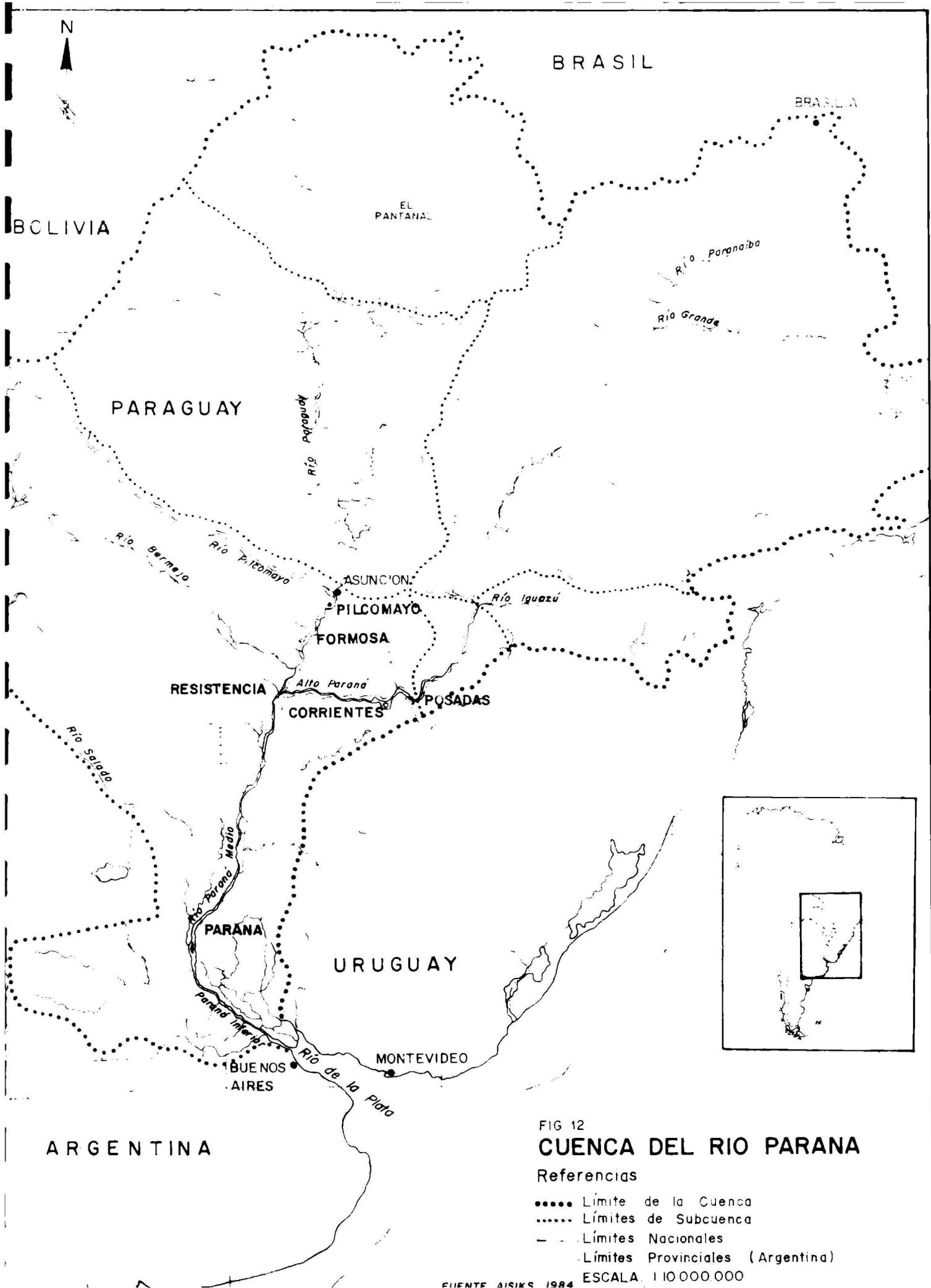


FIG 12  
**CUENCA DEL RIO PARANA**

Referencias

- ..... Límite de la Cuenca
  - ..... Límites de Subcuenca
  - - - Límites Nacionales
  - Límites Provinciales (Argentina)
- ESCALA. 1:10 000 000

### 3.1 Condiciones hidrológicas y pluviales medias en la zona de estudio

Los ríos que atraviesan esta región pertenecen a la cuenca del Plata, cuya superficie es de 3.200.000 Km<sup>2</sup> distribuidos entre cinco países: Brasil, Argentina, Paraguay, Bolivia y Uruguay. Los principales ríos de la cuenca y que interesan en cuanto a su aporte a las crecidas en la zona de estudio son el Paraná, el Paraguay y el Iguazú.

**Paraná:** En términos generales, los mayores caudales del Paraná se registran en verano-otoño, debido a las precipitaciones tropicales en la cuenca superior mientras que la época de caudales más bajos se produce en invierno-primavera. Esto se puede observar en la Fig.13 que muestra los caudales medios mensuales del Paraná en dos estaciones. En Corrientes se aprecia un máximo en verano-otoño (febrero-marzo) y un mínimo en invierno-primavera (agosto-setiembre); Posadas muestra un comportamiento similar, con un pico máximo en febrero y un mínimo en agosto.

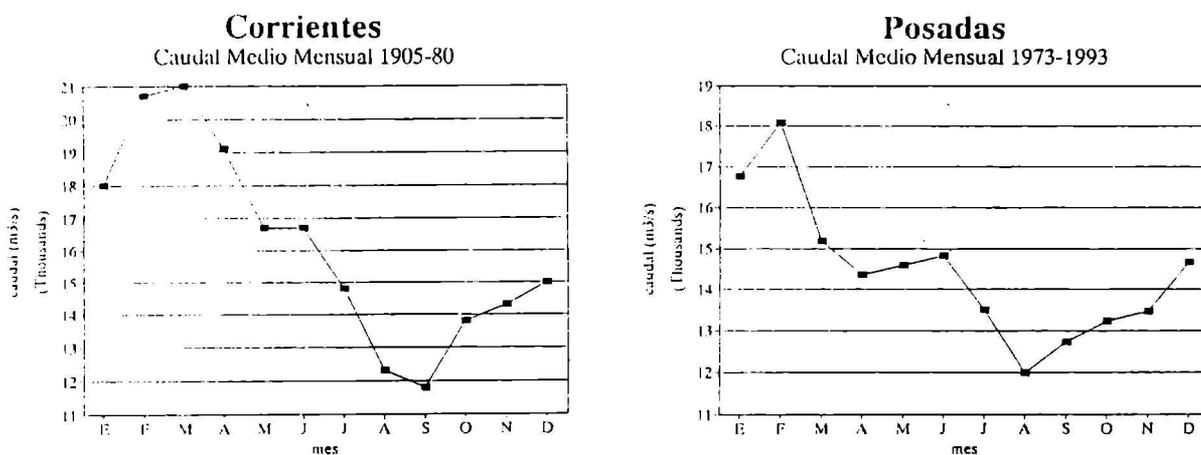


Figura 13. Caudal medio mensual del río Paraná en Corrientes y Posadas. (Fuente: elaboración propia en base a información proporcionada por el INCyTH).

Las precipitaciones son abundantes en toda la región con valores promedios anuales

---

mayores a 1000 mm. Cerca del océano Atlántico, por ejemplo en el sur de Brasil, las precipitaciones son abundantes en todos los meses del año. A medida que nos alejamos del océano comienza a acentuarse una tendencia hacia regímenes de precipitaciones estivales y mínimos invernales. En las zonas de transición pueden darse dos máximos anuales en otoño y primavera. La Fig. 14 muestra la marcha anual media de la precipitación en las estaciones de Corrientes, Resistencia, Formosa, Posadas y Paraná. Las tres primeras son similares, con máximos en verano (enero) y mínimos en invierno (junio, julio, agosto); produciéndose un segundo pico en primavera (octubre). En Posadas, ubicada más al este, el máximo de precipitación se registra en primavera (octubre) y el mínimo en julio; mientras que en Paraná se observa un pico máximo en otoño y mínimo en invierno al igual que en todas las estaciones.

**Paraguay:** Su rasgo más distintivo es la depresión de "el gran Pantanal", amplia planicie de inundación que en promedio cubre un área de 140.000 km<sup>2</sup> y durante la inundación el agua puede cubrir una superficie de 250.000 km<sup>2</sup>, ubicada en su tramo superior. El Gran Pantanal tiene una importante influencia reguladora en la descarga del río Paraguay. Este río presenta dos picos de crecidas anuales: uno en verano, originado por lluvias en el tramo superior, al norte del Pantanal y otro en primavera, por precipitaciones en los tributarios del curso inferior. Los caudales de crecida generados al norte del Pantanal son retenidos en él, ya que actúa como un gran embalse natural y el pico de crecida tarda aproximadamente seis meses en atravesarlo. En consecuencia, en la desembocadura del Paraguay, los niveles máximos se alcanzan en junio-julio y los mínimos en diciembre-enero (Fig. 15). Este retraso es muy importante en las crecidas del río Paraná, dado que los mayores caudales de este último se registran en verano.

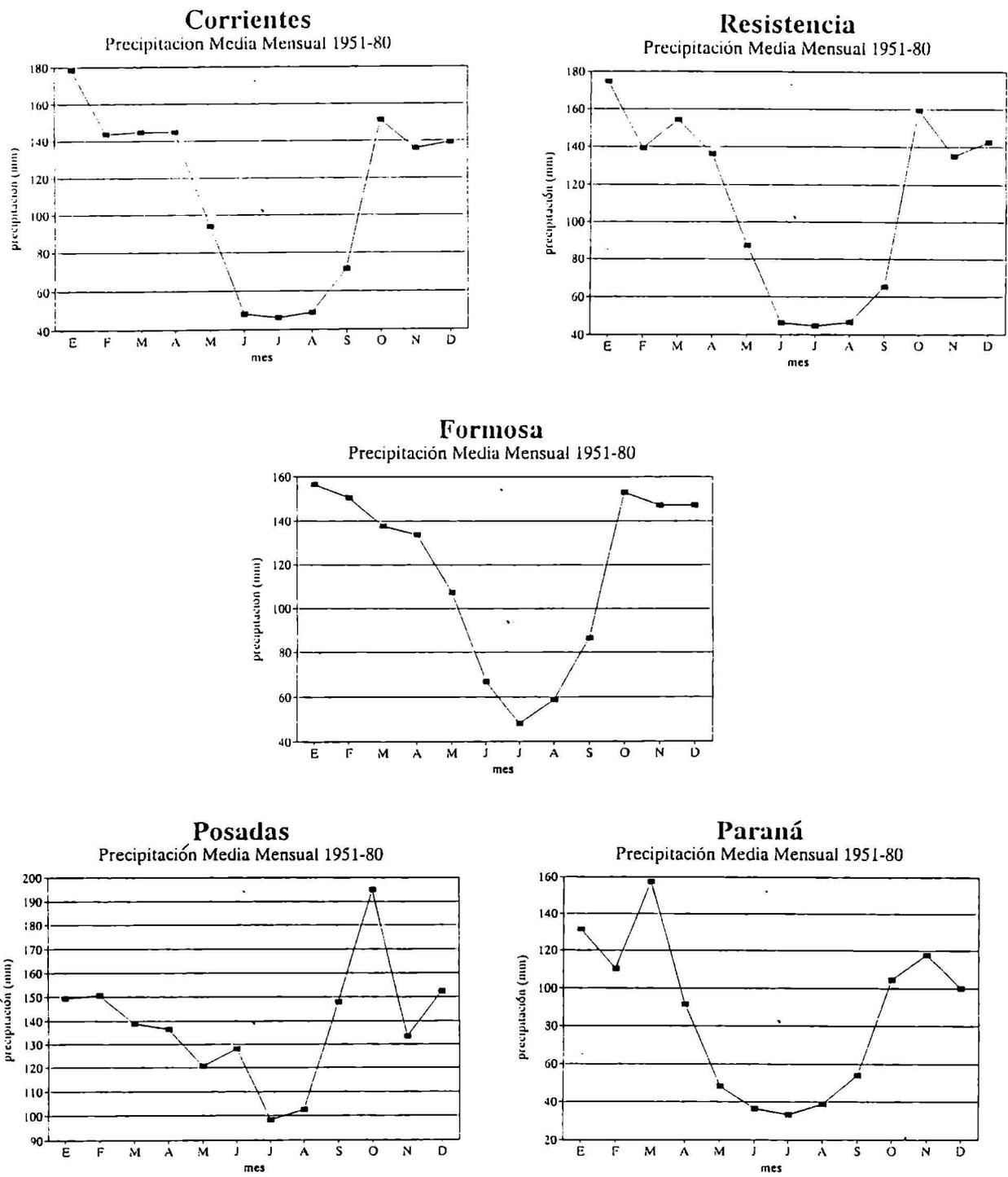


Figura 14. Marcha anual de la precipitación media en Corrientes, Resistencia, Formosa, Posadas y Paraná (Fuente: Elaboración propia en base a información del Boletín climatológico del SMN).

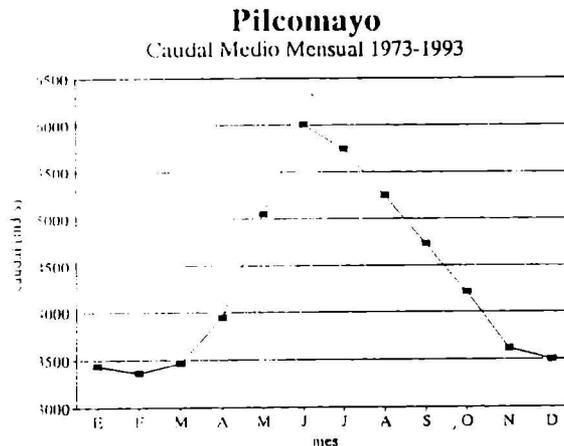


Figura 15. Río Paraná. Caudal medio mensual en Pilcomayo (Fuente: elaboración propia en base a información proporcionada por el INCyTH).

**Iguazú:** La precipitación anual en su cuenca es de unos 1.500 mm, con dos picos máximos, uno en mayo y otro en Septiembre-Noviembre. El caudal promedio del Iguazú es de 1.550 m<sup>3</sup>/s, pero en crecidas extraordinarias puede alcanzar un valor de 25.000 m<sup>3</sup>/s. En general los estiajes (caudales bajos) se producen en verano y las crecidas en invierno-primavera. Las ondas de crecida originadas en la cuenca del Iguazú se trasladan rápidamente a lo largo de su curso, demorando entre 3 y 5 días, según el área abarcada por las precipitaciones, en llegar a Puerto Iguazú. Si esto coincide con una creciente del Alto Paraná, el cuadro general se ve agravado.

La caracterización anterior ha sido realizada sobre la base de una recopilación de los siguientes estudios: Bonetto et al, 1987; Aisiks, 1984; Viladrich et al, 1992. Los gráficos sobre condiciones medias son elaboración propia en base a información primaria.

Se debe aclarar que, tanto en la descripción de las condiciones hidrológicas medias como en el análisis de las crecidas se ha hecho omisión del efecto modificador de las represas existentes en la cuenca del río Paraná cuyo volumen total, incluyendo Itaipú, es

de aproximadamente  $330 \text{ km}^3$  y su volumen útil<sup>8</sup> de  $110 \text{ km}^3$  (Viladrich et al. 1992). A fin de maximizar el uso hidroeléctrico en las presas de la cuenca, se trata de mantener el embalse lo más alto posible para obtener un mayor salto de generación. De esta manera, la capacidad del embalse está casi siempre colmada y las posibilidades de regular el río son mínimas. Por ejemplo, el volumen de la onda de crecida de 1983 fue de unos  $700 \text{ km}^3$  mientras que el volumen útil de la presas construidas es de  $110 \text{ km}^3$ , es decir un poco más de un orden de magnitud inferior en el caso de las crecidas extraordinarias. En el caso de la gran represa de Itaipú, el volumen útil se calcula en unos  $6 \text{ km}^3$ ; si se genera una onda de crecida de  $30.000 \text{ m}^3/\text{s}$  aguas arriba de la misma, la capacidad de retención se colmará en 2 ó 3 días y la onda pasará aguas abajo sin mayor modificación que un achatamiento en su pico (Viladrich et al. 1992). Estas son las razones por las que se ha descartado a las represas como reguladoras del río, fundamentalmente para el caso de las crecidas. En el caso de los períodos de sequía, el efecto de las presas se hace notar en los valores de los caudales aguas abajo de la misma, ya que se libera agua acumulada en el embalse para no interrumpir la generación eléctrica. Esto se mencionará más adelante al analizar el caso de La Niña.

### **3.2. Las crecidas del río Paraná**

Puede decirse que una crecida es un fenómeno hidrológico que se refleja en un aumento considerable del caudal de un curso fluvial. Las crecidas tienen dos características esenciales: a) la inundación por ellas provocada es transitoria y b) la zona inundada es adyacente al río o lago que la inunda. En general se hace una diferenciación entre las crecidas ordinarias y las extraordinarias. Si bien el límite no es preciso, las primeras

---

<sup>8</sup> Por volumen útil de una presa se entiende el volumen disponible para atenuar crecidas y resulta de la diferencia de la cota máxima del embalse y la cota de operación.

corresponden al período rico del año hidrológico<sup>9</sup> durante el cual se inundan algunas zonas bajas si producir daños mayores mientras que las segundas corresponden a las crecidas que, entre otros daños, inundan zonas de cultivo, aíslan o desplazan poblaciones e interrumpen la actividad económica. Estas últimas son consecuencia de combinaciones extremadamente raras de factores adversos meteorológicos e hidrológicos (Aisiks, 1984).

El estudio de las crecidas del río Paraná constituye de por sí un problema arduo y complejo debido entre otras cosas a:

- Los distintos orígenes de los caudales y sus múltiples posibilidades de combinación, aportes del Paraná Superior, aportes del Iguazú, aportes del Paraguay.
- El estado del valle en el momento de producirse la crecida.
- El estado de rugosidad de los cauces y del valle de inundación.
- Lluvias locales y aportes de cursos intermedios.

Además, sus crecidas pueden ser estudiadas y caracterizadas a través de diferentes variables hidrológicas, que si bien están relacionadas entre estas variables, cada una mide características distintas del mismo fenómeno:

- caudal máximo alcanzado<sup>10</sup>
- altura máxima alcanzada<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> **año hidrológico:** período continuo de 12 meses seleccionado de manera tal que los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo que la cantidad sobrante de un año al siguiente se reduce al mínimo (Glosario Hidrológico Internacional, 1992)

<sup>10</sup> **caudal:** volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo (Glosario Hidrológico Internacional, 1992)

<sup>11</sup> **altura o nivel:** distancia vertical entre la superficie del agua de una corriente, lago, embalse y el cero de la escala (Glosario Hidrológico Internacional, 1992)

- volumen escurrido para un determinado período<sup>12</sup>
- duración o permanencia de determinados valores de caudales y niveles (Paoli, 1987).

Por tal razón una misma crecida puede ser de distinta importancia según la variable con que se analiza, por otra parte, la manifestación de una misma crecida es distinta a lo largo de todo el tramo del río. Por ejemplo, la crecida de 1991-92 fue muy importante en cuanto a los caudales alcanzados, pero fue menos persistente que la de 1982-83 (menor duración). Así mismo para algunos puertos fue la mayor crecida del siglo (Rosario, Paraná), mientras que para otros fue la segunda (Corrientes, Posadas).

Las noticias que se tienen de las crecidas extraordinarias del Paraná anteriores a 1901 y su magnitud provienen de viejas marcas en edificaciones, transmisión oral de pobladores de la zona, crónicas o periódicos de la época, etc. Son las denominadas "crecidas inferidas" (Aisiks, 1984).

Se estima que el Paraná habría alcanzado en Corrientes los siguientes niveles con sus correspondientes caudales (Fuente: Aisiks, 1984):

<b>Año</b>	<b>Alt. (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
1612	10,50 o más	65.000 o más
1748	10,50 o más	65.000 o más
1812	9,53	62.000 o más
1858	9,00	60.000
1878	8,65	51.000

---

<sup>12</sup> **volumen escurrido:** volumen total de agua que fluye, usualmente referido a las salidas de un área de drenaje o una cuenca fluvial (Glosario Hidrológico Internacional, 1992)

La altura máxima de este siglo registrada en Corrientes en 1983, fue de 9,02 m con un caudal de 61.000 m<sup>3</sup>/s. Es decir que en 380 años (1612-1992) se habrían registrado en este puerto por lo menos cuatro crecidas extraordinarias iguales o mayores que la de 1983.

La primer crecida extraordinaria medida fue la de 1905. A continuación se transcriben las crecidas extraordinarias superiores o iguales a 35.000 m<sup>3</sup>/s a partir de 1905 en Corrientes (Fuente: Viladrich et al., 1992):

<b>Año</b>	<b>Crecida (m<sup>3</sup>/s)</b>
1905	46.000
1912	36.000
1923	35.000
1929	37.000
1966	42.000
1977	36.000
1982	46.000
1983	61.000
1990	44.000
1992	51.000

En la Fig. 10 están representadas algunas de estas crecidas.

Viladrich et al. (1992) hacen un análisis sobre la frecuencia<sup>13</sup> y los períodos de

---

<sup>13</sup> **frecuencia de crecidas:** número de veces a lo largo de un determinado período de años que puede producirse una crecida cuyo caudal o altura supere un nivel dado (Glosario Hidrológico Internacional, 1992)

---

recurrencia o retorno de las crecidas<sup>14</sup>, arribando a las siguientes conclusiones:

Entre 1905 y 1992 (87 años) se han registrado diez crecidas iguales o mayores a 35.000 m<sup>3</sup>/s, es decir una cada 9 años, y seis crecidas iguales o mayores a 40.000 m<sup>3</sup>/s, o sea una cada 15 años.

Si se considera el período 1858-1992 (134 años), se registraron tres crecidas iguales o mayores a 50.000 m<sup>3</sup>/s, una cada 44 años.

En cambio, al tomar el período 1982-1992 (10 años), los resultados son: cuatro crecidas iguales o mayores a 40.000 m<sup>3</sup>/s, es decir una cada dos años y medio y las dos mayores crecidas del siglo (1983 y 1992) separadas por tan sólo 9 años.

Estos valores parecieran indicar un cambio en el régimen de los caudales del Paraná, en el sentido de que la última década resulta más húmeda que el resto del siglo. Como se verá más adelante, éste no es el único signo de esta tendencia.

Hasta el año 1983 el período de retorno para las crecidas iguales o superiores a 60.000 m<sup>3</sup>/s se calculaba (por medio de leyes probabilísticas) en 200 años. A partir de la crecida de 1983 y hasta 1992, este período se redujo a 120 años. Actualmente, después de la crecida de 1992, esa hipótesis debe ser revisada ya que es posible que el período de retorno sea de 80 años o menos. Estos datos demuestran que estamos frente a un cambio climático que deberá ser estudiado en profundidad para determinar sus alcances y consecuencias.

---

<sup>14</sup> **período de retorno/ recurrencia:** intervalo medio de tiempo a largo plazo, o número de años al cabo de los cuales se igualará o superará un suceso, por ej. caudal máximo de crecida (Glosario Hidrológico Internacional, 1992).

---

### **3.3. Comparación de fenómenos El Niño y La Niña y las crecidas del Paraná**

#### ***3.3.1. Fuentes y métodos de tratamiento de datos***

La información primaria utilizada en el análisis de la posible vinculación entre El Niño -- y su fase opuesta, La Niña -- y las crecidas en la cuenca del Paraná proviene de diversas fuentes tal como se detalla a continuación.

El Climate Analysis Center dependiente del National Weather Service de Estados Unidos publica mensualmente el Climate Diagnosis Bulletin, que contiene información sobre las anomalías climáticas a escala global. De allí se han reproducido los gráficos del Índice de Oscilación del Sur, de la presión a nivel del mar en Darwin y Tahití; y de las anomalías de las TSM en el Pacífico ecuatorial empleados en el apartado 3.3.2. para identificar los fenómenos El Niño y La Niña que serán considerados en este trabajo. Del mismo boletín surgen los mapas de Radiación de Onda Larga y de anomalías de la precipitación para estudiar la relación entre dichas anomalías y los eventos El Niño-La Niña.

Para estudiar las variaciones de los caudales en la cuenca media del Paraná, se obtuvieron los datos de aquellas estaciones más representativas desde el punto de vista hidrológico. A tal fin se han elegido los puertos de Pilcomayo, Posadas y Corrientes (marcados en verde en la Fig. 12). Puerto Pilcomayo indica los aportes del río Paraguay, y Posadas representa los del Paraná Superior y del río Iguazú. Corrientes es el puerto más representativo del comportamiento del Paraná ya que el río cuenta en este punto con los aportes de todos los principales afluentes y con casi la totalidad del caudal final. Los caudales hidrométricos medios mensuales fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCyTH). Se presentaron ciertas limitaciones con los

---

registros históricos ya que los períodos de observación para las tres estaciones no son homogéneos. Los promedios históricos mensuales en Corrientes corresponden al período 1905-1980 y provienen de las Estadísticas Hidrológicas de Agua y Energía. En el caso de Posadas y Pilcomayo solamente se pudieron obtener del INCyTH datos de caudales para la última década (Agua y Energía no tiene registro de estos puertos). En estas dos últimas estaciones, por lo tanto, no es posible obtener registros medios históricos para realizar el cálculo de las anomalías y solamente serán consideradas como referencia cualitativa de las condiciones hidrológicas en los casos en estudio.

Con respecto a la precipitación (en rojo en la Fig. 12), las estaciones seleccionadas en de la zona de estudio son: Corrientes, Formosa, Resistencia, Posadas y Paraná, cuyos datos pluviométricos mensuales fueron extraídos del Boletín Climatológico del Servicio Meteorológico Nacional (enero de 1986 - diciembre de 1992) al igual que los valores medios correspondientes al período 1951-1980 empleados para calcular las anomalías. Los promedios correspondientes a 1981-90 se obtuvieron de las Estadísticas Climatológicas de dicha década.

Los datos de precipitación que aparecen en el Boletín Climatológico surgen de los mensajes CLIMAT<sup>15</sup> Y SYNOP<sup>16</sup> confeccionados por las estaciones meteorológicas que conforman la Red Nacional.

Los datos fueron procesados en una PC 486 mediante el uso de una planilla de

---

<sup>15</sup> Los mensajes CLIMAT son emitidos mensualmente por los Servicios Meteorológicos Nacionales y contienen datos climatológicos de superficie en clave, observados en ciertas estaciones durante los meses precedentes. Los mensajes CLIMAT son difundidos en todo el mundo por el Sistema Mundial de Telecomunicaciones al comienzo de cada mes (Vocabulario Meteorológico Internacional, 1992).

<sup>16</sup> Clave SYNOP: clave meteorológica, aprobada por la Organización Meteorológica Mundial, en la cual los elementos meteorológicos observados en la superficie de la tierra a horas estándar, se cifran en grupos de 5 dígitos y se transmiten internacionalmente (Vocabulario Meteorológico Internacional, 1992).

cálculo (programa QPRO 4.0) que permitió realizar los distintos gráficos que aparecen en esta sección. La metodología básica consistió en calcular las anomalías de los parámetros (caudal y precipitación), es decir la diferencia con respecto al promedio.

Si tomamos como ejemplo el caso de la precipitación, se llama Anomalía al valor:

$$AP = P_i - \bar{P}_i$$

donde: AP = Anomalía de la precipitación

$P_i$  = Precipitación del mes n° i del año

$\bar{P}_i$  = Precipitación media del mes n° i del año

De acuerdo a esta definición, una anomalía positiva significa un mes en el cual la precipitación fue anormalmente alta; una anomalía negativa, lo inverso.

Los promedios corridos de cinco meses permiten suavizar las variaciones intermensuales revelando las tendencias estacionales de las anomalías estudiadas. Se calculan con la siguiente expresión:

$$P_{mi} = 1/5 (P_{i-2} + P_{i-1} + P_i + P_{i+1} + P_{i+2})$$

donde:  $P_{mi}$  = promedio corrido de las anomalías correspondiente al mes n° i del año.

$P_{i-2}, \dots, P_{i+2}$  = promedios de las anomalías en los meses i-2...i+2

Con toda esta información se graficó, para cada una de las estaciones consideradas, el comportamiento hidrológico de los ríos y el de las precipitaciones en los años en que se produjo un fenómeno El Niño o La Niña. Se representaron, en el caso de los caudales, el caudal medio mensual y en el de las precipitaciones, la precipitación mensual; las anomalías y los promedios corridos de 5 meses.

El primer paso consistió en la identificación de los eventos. Una vez detectados, se hicieron los gráficos para los años correspondientes y se procedió a analizarlos.

### 3.3.2. Identificación de los fenómenos El Niño y La Niña

Como ya se ha dicho, existen distintos indicadores de la ocurrencia de un fenómeno ENOS tales como el Índice de Oscilación del Sur (IOS) o las temperaturas en la superficie del mar (TSM) en regiones del Pacífico ecuatorial. En la Fig. 16 se observa el IOS (la diferencia entre la presión atmosférica en superficie entre Tahití y Darwin). Teniendo en cuenta que valores negativos de este índice son indicativos de un evento ENOS, luego del gran evento de 1982-83 identificamos un fenómeno ENOS que comienza a mediados de 1986 y abarca gran parte de 1987 y otro que tiene su máximo en el verano austral de 1991-92, pero que es precedido por todo un año con valores negativos del IOS. También identificamos un fenómeno La Niña ocurrido a fines de 1988 y comienzos de 1989, correspondiente a valores anormalmente positivos del IOS.

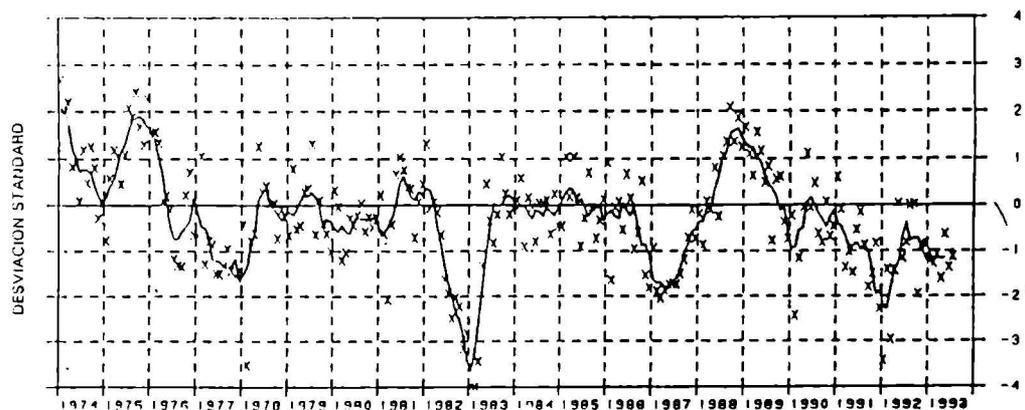


Figura 16. Índice de Oscilación del Sur 1974-1993 (promedios corridos de 5 meses). Las "X" indican las medias mensuales individuales. (Fuente: Climate Diagnosis Bulletin, July 1993)

Otra forma de analizar la ocurrencia de eventos El Niño o La Niña es a través de la TSM. En la Fig. 17 se observan las variaciones de la anomalía de la TSM en los últimos quince años para las regiones internacionalmente denominadas Niño 1, 2, 3 y 4. La anomalía de la temperatura se define en forma análoga a lo expuesto para la anomalía de la presión a nivel del mar. La curva inferior corresponde al promedio de la región

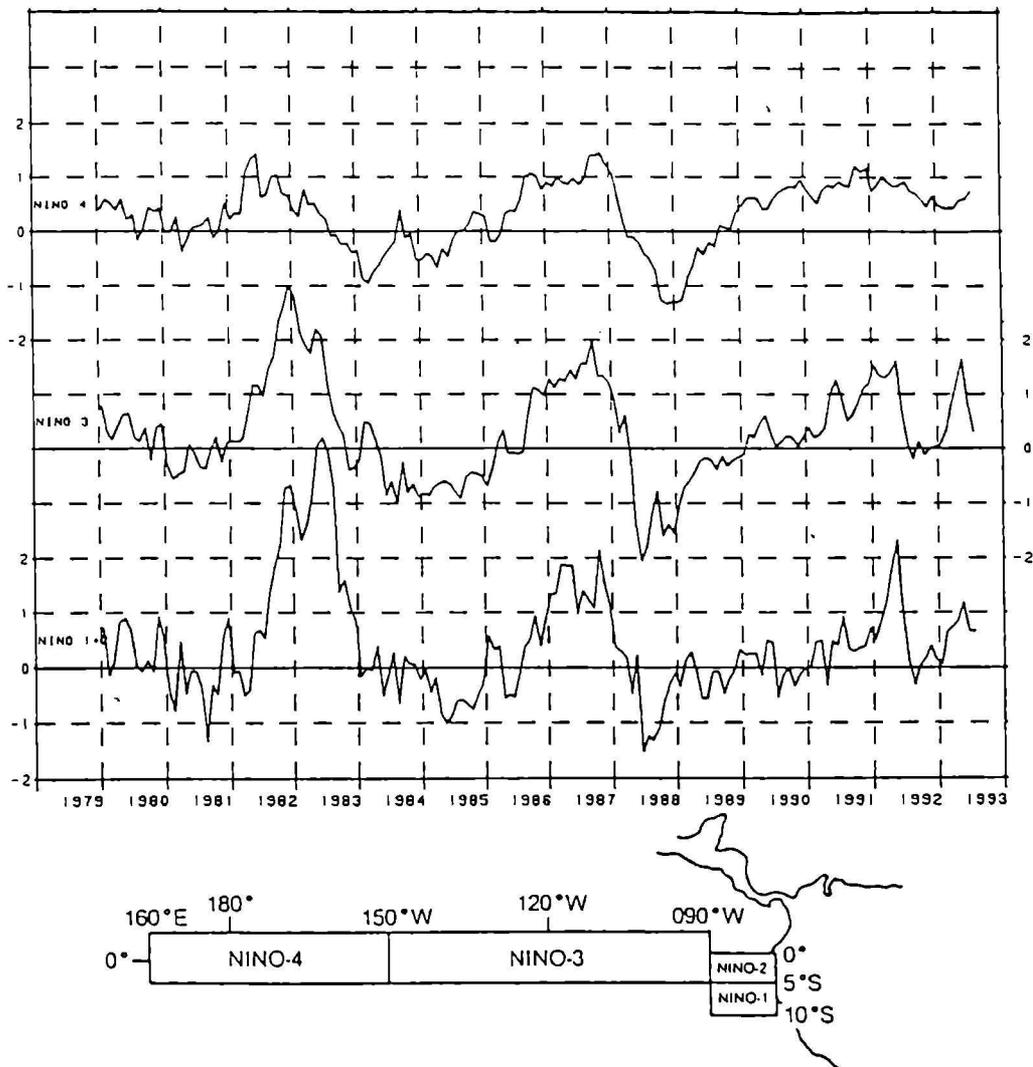


Figura 17. Indices de la anomalía de la TSM en el Pacífico Ecuatorial °C para las áreas indicadas (1979-1993). (Fuente: Climate Diagnosis Bulletin, July 1993)

identificada como Niño 1 y Niño 2 (zona cercana a la costa sud ecuatorial de América del Sur). En cuanto al fenómeno de 1982-83, esta figura nos indica que las mayores anomalías se registran cerca de la costa (N1 y N2) con valores superiores a 3 °C, seguidas de la zona ecuatorial inmediatamente cercana (N3), con anomalías que superan los 2 °C solamente en el verano austral de 1982-83. En la región N4 solamente se

produce una ligera anomalía positiva que no alcanza a superar 1 °C. Con respecto a El Niño de 1986-87, las tres curvas muestran desvíos positivos en la TSM superiores a 1-2 °C para las zonas N1 a N3 y de 1 °C en general para N4. El fenómeno La Niña, caracterizado por temperaturas anormalmente frías, se registra en la región N3 con mayor intensidad para el año 1988 fundamentalmente, y comparando las tres curvas se observa una propagación hacia el oeste de esta anomalía (en el mismo sentido de las corrientes de Humboldt y Sudcuatorial). El Niño de 1991-92 es extremadamente atípico. En la zona cercana a la costa de América del Sur (N1 y N2), se registran las mayores anomalías positivas (1 a 2 °C) durante la primera parte del año 1992. En la zona contigua (N3), se nota un continuo aumento de la temperatura durante todo el año 1991, con un episodio de máximo calentamiento que abarca los primeros tres o cuatro meses de 1992. En la zona N4 no existen variaciones que superen 1 °C de diferencia con respecto al valor medio.

### ***3.3.3. Análisis de la información***

#### *3.3.3.1. El Niño de 1986-1987*

Hacia mediados del año 1987, más precisamente en los meses de mayo y junio, se superan los valores de 25.000 m<sup>3</sup>/s en Corrientes<sup>17</sup> (Fig. 18); éstos caudales constituyen anomalías positivas de alrededor de 10.000 m<sup>3</sup>/s superiores al promedio para esta época del año. La suavización mediante los promedios corridos de cinco meses muestra una estación invernal durante el año 1987 caracterizada por caudales anormalmente altos, todo esto precedido por un evento El Niño de moderada intensidad.

---

<sup>17</sup> La altura crítica (nivel considerado peligroso y ante el cual deben comenzar los mensajes de alerta) para el río Paraná en Corrientes es de 5,50 metros, lo que equivale a un caudal de aproximadamente 23.300 m<sup>3</sup>/s.

## Corrientes

### Caudal 1986-1987

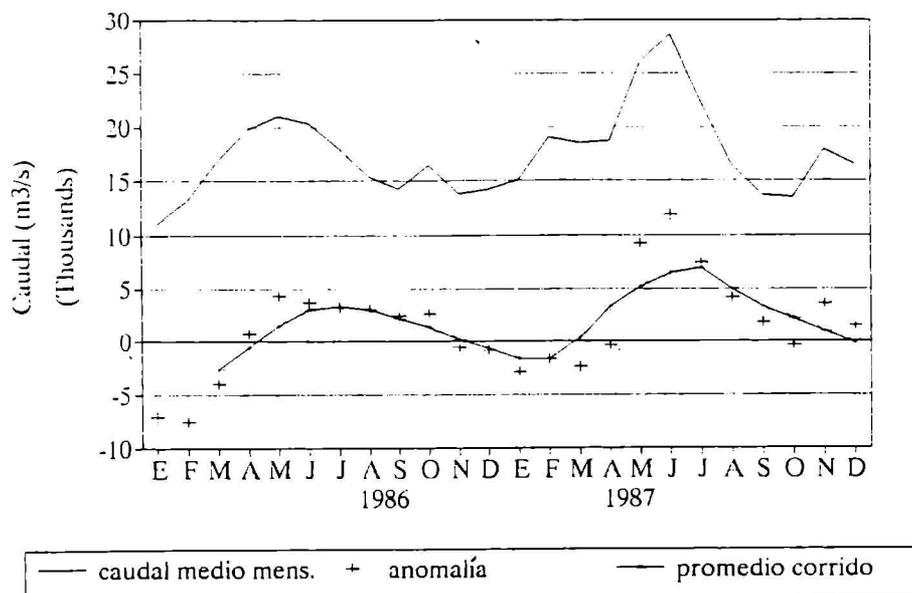


Figura 18. Corrientes, caudales 1986-87 (promedio base 1905-80).

Si este mismo análisis se rehace tomando como promedio base la década 1981-90 (Fig. 19), los únicos meses que superan los caudales medios mensuales son mayo y junio con valores entre 3.000 y 4.000 m<sup>3</sup>/s, mientras que los meses anteriores y posteriores presentan caudales deficitarios. Esto nos está mostrando que los resultados son sensibles al período base considerado. Según la Fig. 18 con base 1905-80 para la estación de Corrientes, en el año 1987 se registra un período de caudales anómalos positivos de varios meses durante el invierno. Pero según la Fig. 19 para la misma estación, las anomalías de los caudales son mayormente negativas y sólo en dos meses del período invernal se superan los valores normales. La pregunta surge entonces: ¿Cuál de los dos gráficos debe tomarse como correcto, el del período base mayor o el del más reciente? Para contestar se debe tener presente que la década 1981-90 ha sido inusualmente húmeda y por lo tanto los caudales del río Paraná a la altura de Corrientes son elevados en comparación con otras décadas de este siglo (Fig. 20). También cabe tener en cuenta que

en esta década se registran las grandes inundaciones de 1982-83. De aquí se desprende que al considerar esta década como período medio básico para cálculo de anomalías se estaría tomando como normal una década atípicamente anormal, en consecuencia, se asumirán como válidos los resultados de la Fig. 18, correspondientes al período 1905-1980 como promedio base.

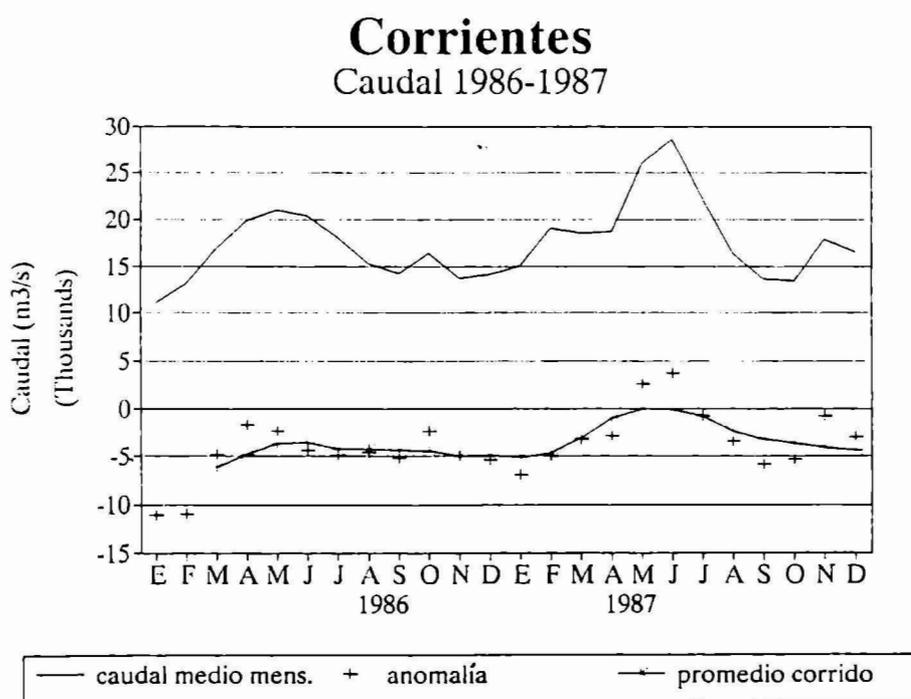


Figura 19. Corrientes, caudales 1986-87 (promedio base 1981-90).

En Pilcomayo (Fig.21), al igual que en Corrientes, se aprecia un pico máximo en los meses de mayo-junio de 1987. Para Posadas (Fig. 22), el pico de la crecida se presenta en el mes de mayo superando los 20.000 m<sup>3</sup>/s.

# Corrientes

## Promedios decádicos 1905-90

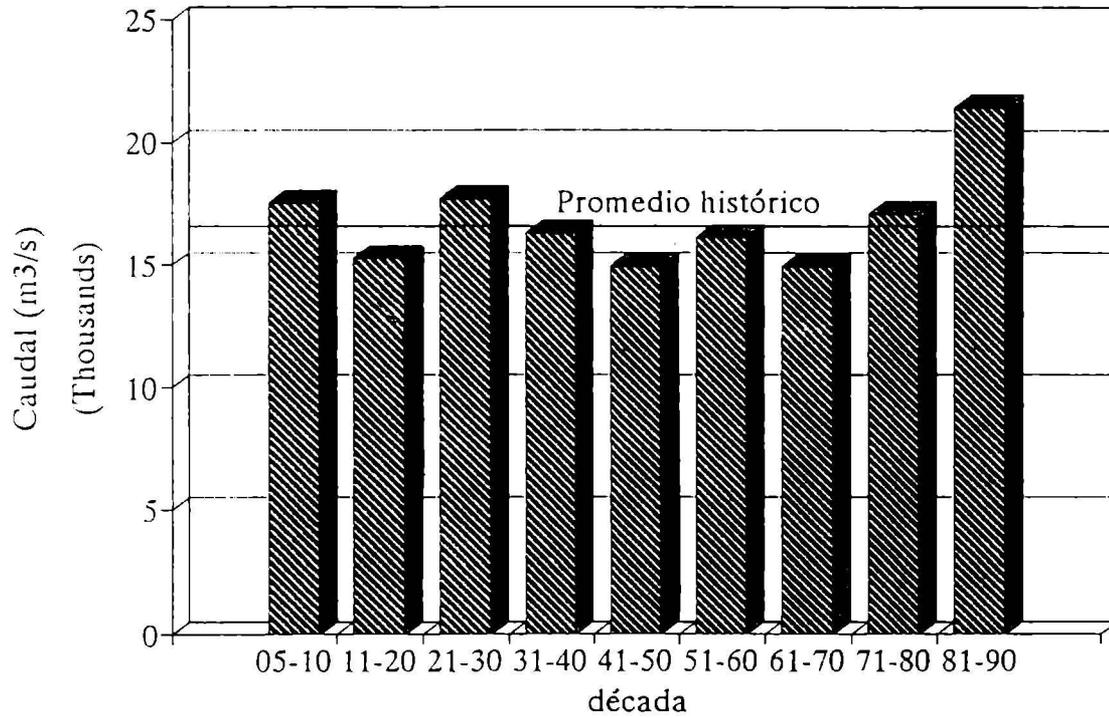


Figura 20

# Pilcomayo

## Caudales Medios Mensuales 1986-1987

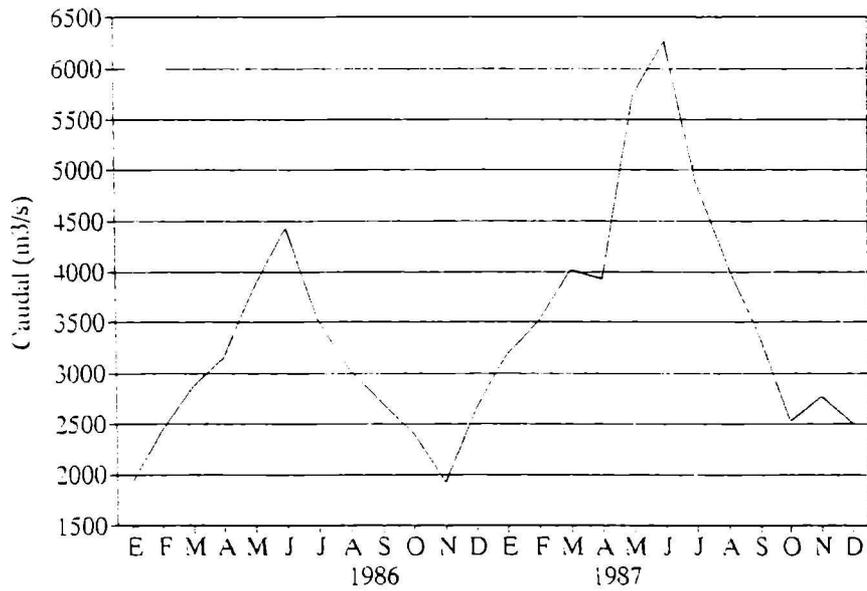


Figura 21

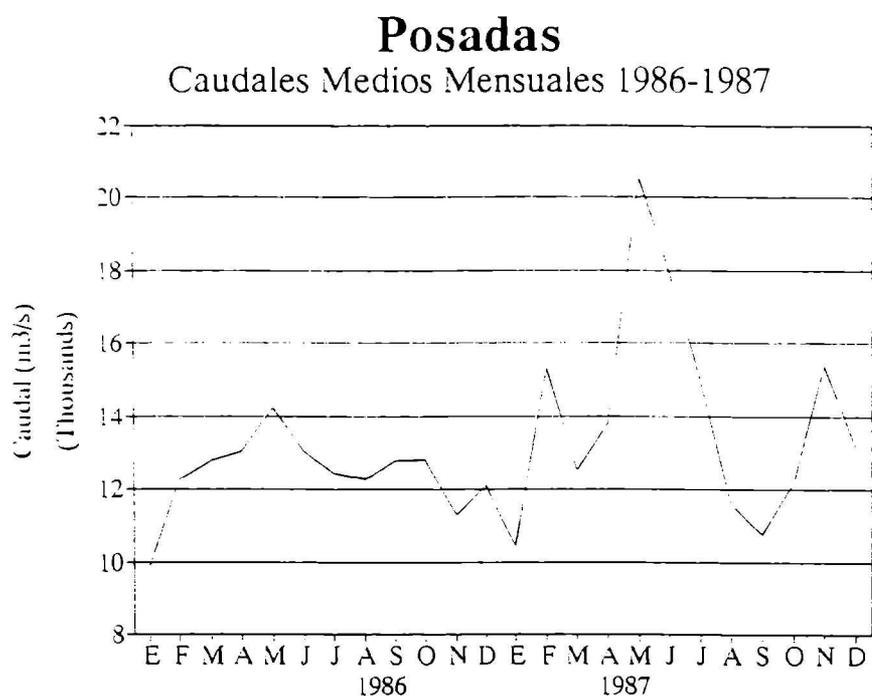


Figura 22

Las Figs. 23 a 27 muestran las precipitaciones y anomalías correspondientes registradas en Posadas, Formosa, Corrientes, Resistencia y Paraná. Lo más significativo es el exceso pluvial en Posadas del período abril-julio de 1987 que no se refleja en ninguna de las otras estaciones consideradas. En julio, la anomalía fue de 300 mm, el triple del promedio histórico. Teniendo en cuenta que Posadas es la localidad que se encuentra más al norte, es lógico pensar que el incremento en los caudales registrado en los meses de mayo y junio de 1987 debiera ser el resultado de excesos pluviales en las nacientes del Paraná.

No existiendo datos de precipitación en esa región, se puede acudir a un método indirecto, utilizando la radiación de onda larga (ROL). La Fig. 28 muestra el promedio de la ROL para diciembre 1986-febrero de 1987 y la Fig. 29, la anomalía respecto del período base 1973-83. El déficit de ROL que aparece en la Fig. 28 inferior a 200 W/m<sup>2</sup>

en la cuenca del Amazonas (coloreada) corresponde a una región con máximo desarrollo nuboso y por ende extremos pluviales. Las anomalías inferiores a  $10 \text{ W/m}^2$  de la Fig. 29 (coloreadas) muestran que en toda la cuenca superior del Paraná se produjeron excesos pluviales durante el período estival 1986-87 en concurrencia con el fenómeno de El Niño.

### Posadas

Precipitación 1986-1987

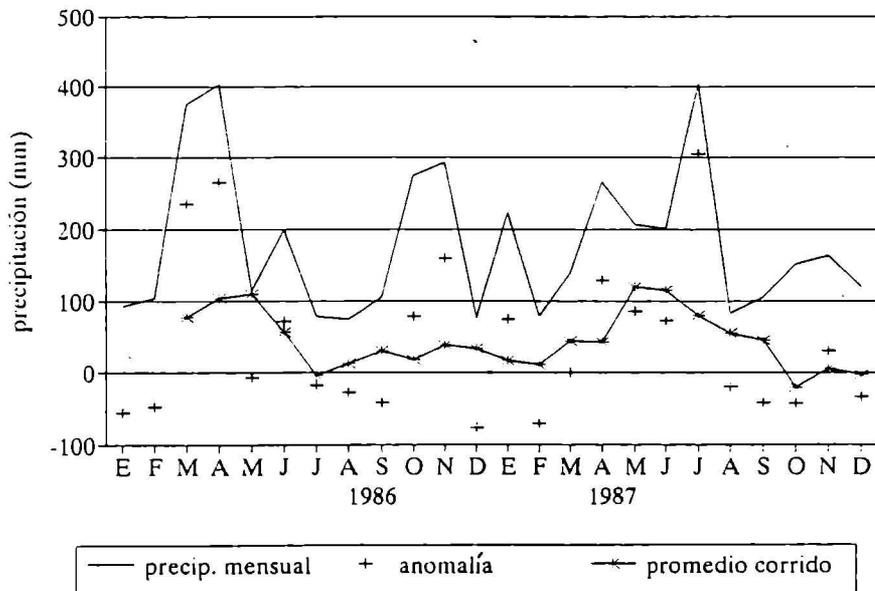


Figura 23

### Formosa

Precipitación 1986-1987

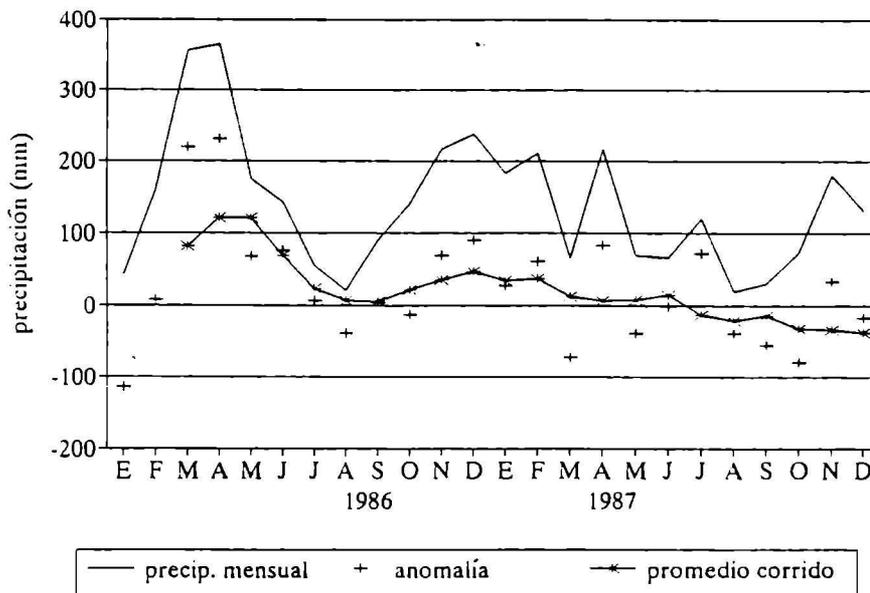


Figura 24

## Corrientes

### Precipitación 1986-1987

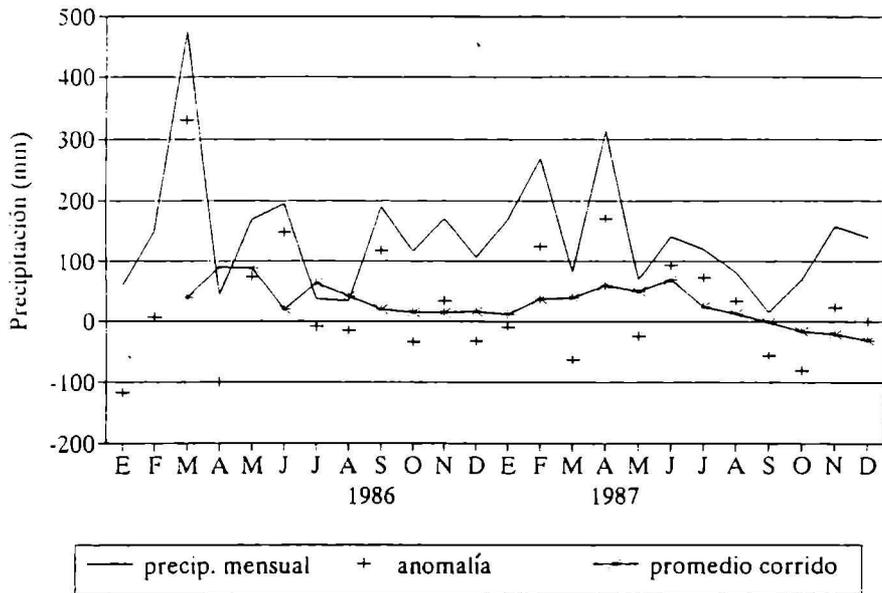


Figura 25

## Resistencia

### Precipitación 1986-1987

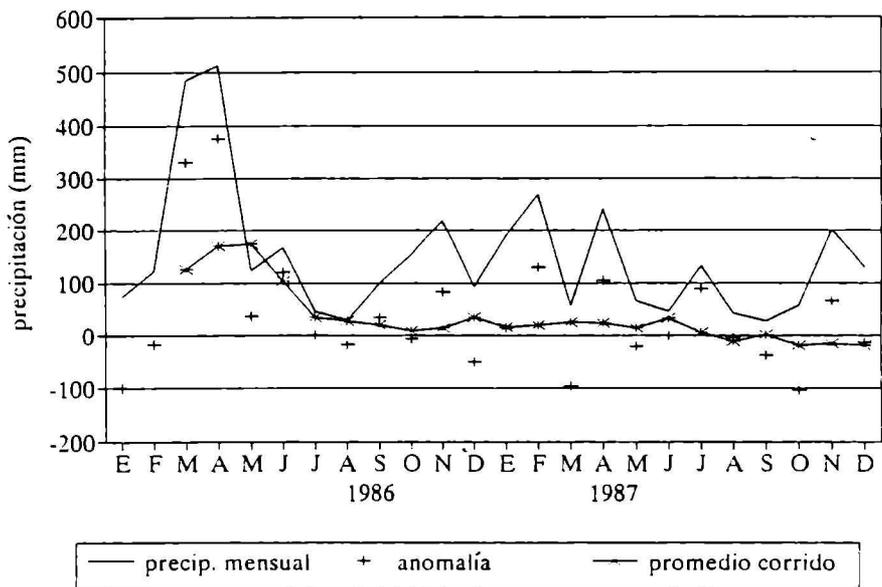


Figura 26

## Paraná

### Precipitación 1986-1987

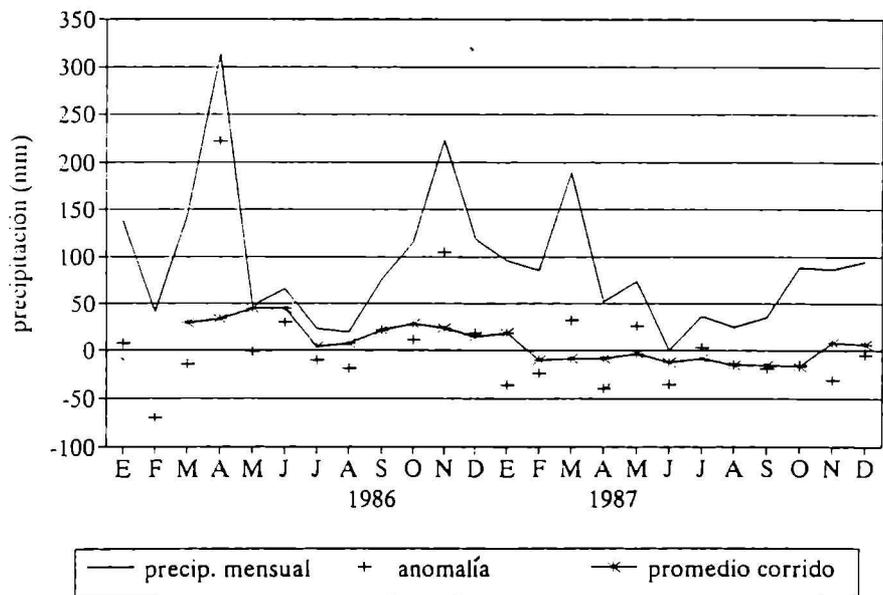


Figura 27

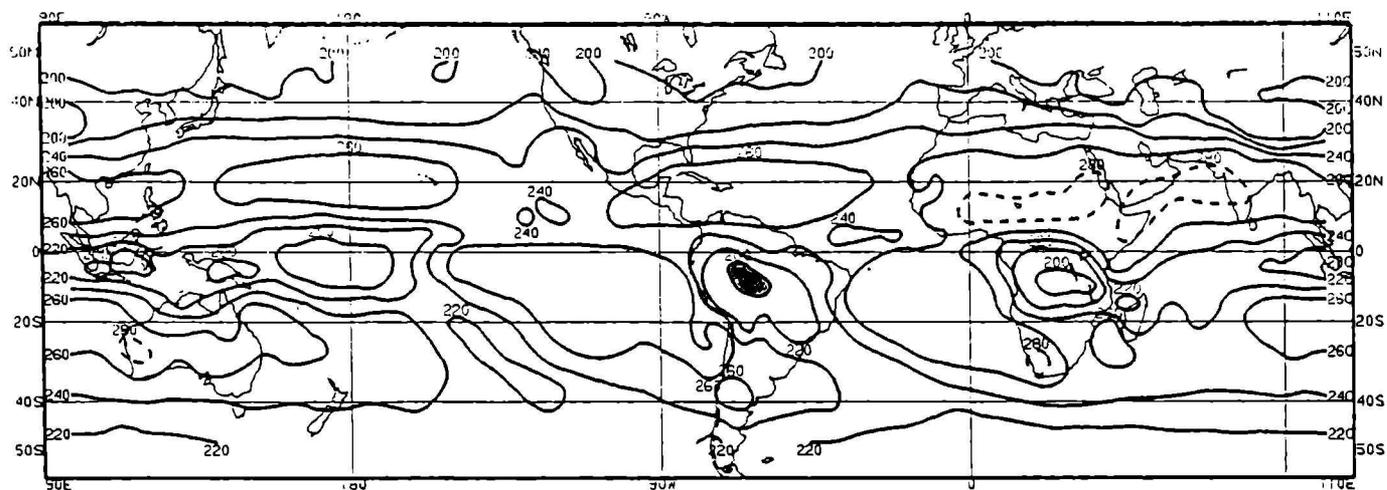


Figura 28. Promedios de la Radiación de onda Larga Saliente, diciembre 1986-enero 1987 (NOAA 9 AVHRR canal infrarrojo). Las isolíneas de más de 280 W/m<sup>2</sup> se grafican con línea de trazos. (Fuente: Climate Diagnosis Bulletin, february 1987)

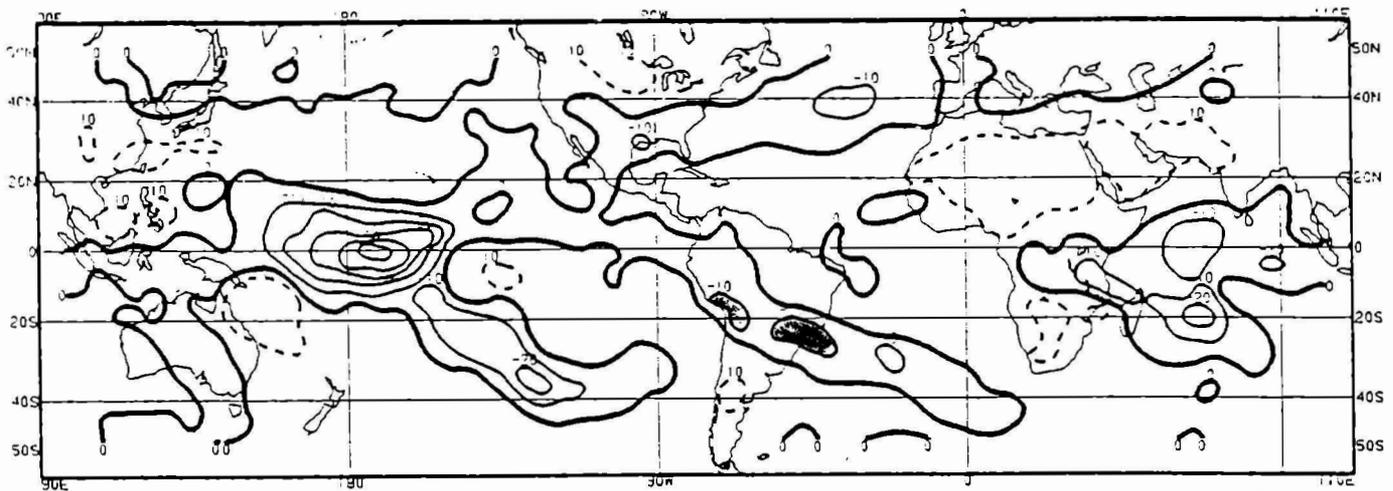


Figura 29. Anomalías de la ROL con respecto al período 1974-1983, diciembre de 1986-enero de 1987. Las anomalías positivas se indican con líneas de trazos. (Fuente: Climate Diagnosis Bulletin, february 1987)

### 3.3.3.2. El Niño 1991-1992

Al observar la Fig. 30 con el comportamiento de los caudales en el puerto de Corrientes, el rasgo más notorio es la crecida extraordinaria hacia mediados del año 1992 anteriormente mencionada. El pico máximo se alcanza en el mes de junio con una anomalía positiva superior a  $25.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal levemente superior al correspondiente a la altura crítica en Corrientes). Luego del pico máximo, las anomalías se extienden hasta diciembre oscilando alrededor de los  $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Durante todo el año 1991 y los dos primeros meses de 1992, los caudales se mantienen dentro de los valores normales.

Posadas (Fig. 31) presenta para estos dos años un comportamiento similar al de Corrientes. El pico de crecida de 1992 se registra en los meses de mayo y junio ( $24.700$  y  $24.800 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente). En Pilcomayo (Fig. 32) también se aprecia claramente la crecida de 1992 (pico en junio con un caudal medio mensual de  $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

## Corrientes

### Caudal 1991-1992

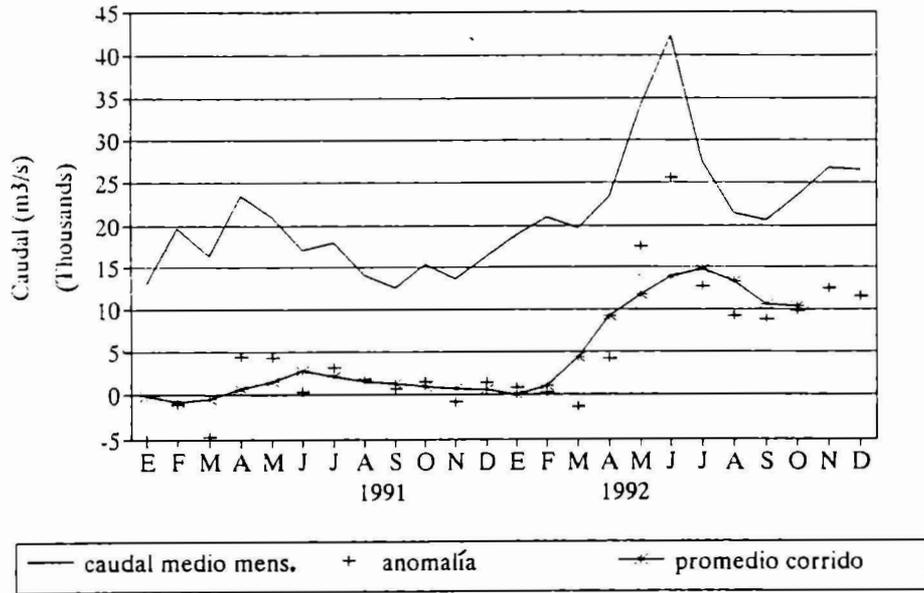


Figura 30

## Posadas

### Caudales Medios Mensuales 1991-1992

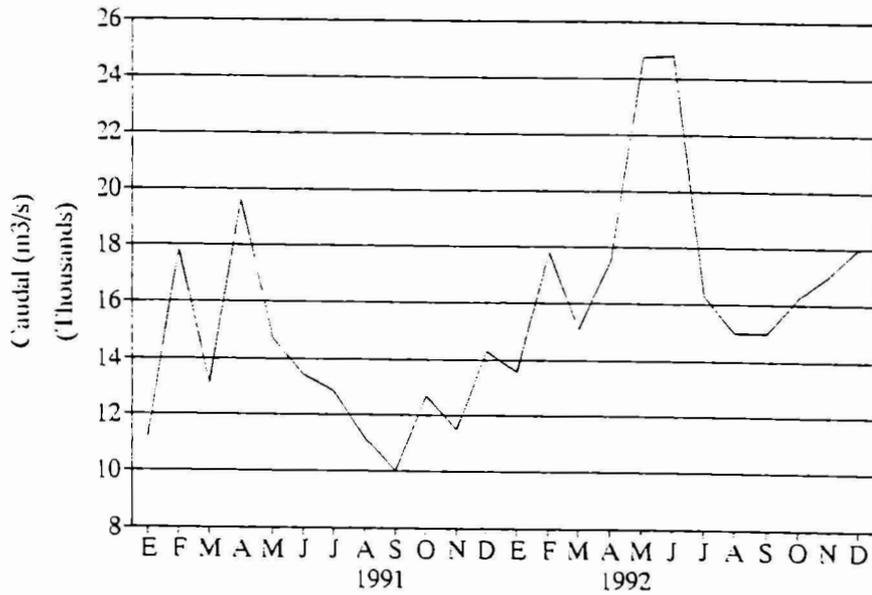


Figura 31

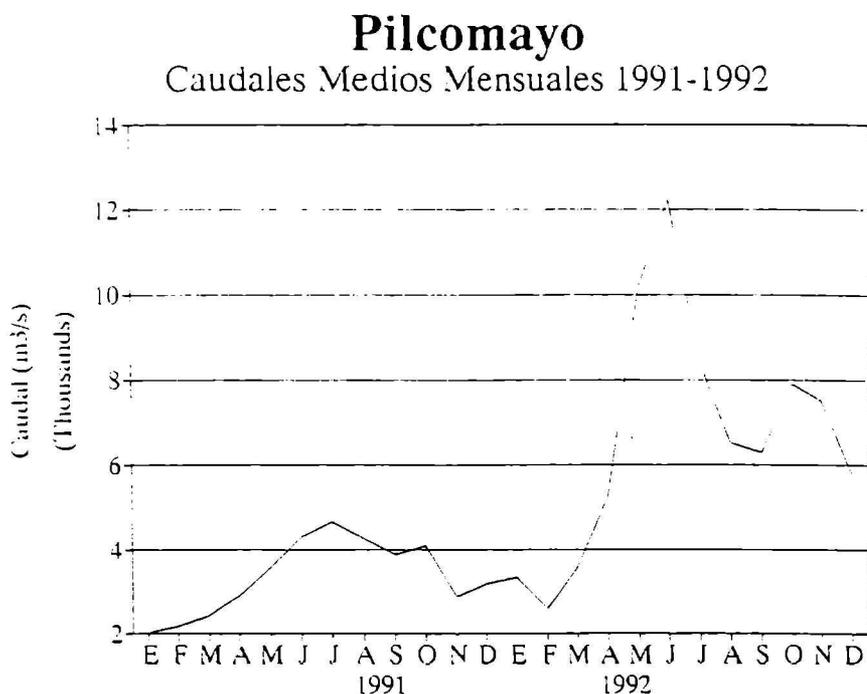


Figura 32

Los picos de crecida en Posadas y Corrientes se producen en el mes de junio, fuera del período normal (enero-marzo) para dichos puertos. Es decir que coinciden las ondas de crecida del Paraná y del Paraguay (crecidas en junio-julio) agravando notablemente el cuadro general aguas abajo de la confluencia de ambos ríos. Esta coincidencia de ondas de crecida es característica de las grandes inundaciones como las de 1983 y 1992.

En la mayoría de las estaciones de precipitación consideradas (Figs. 33 a 37) se registran anomalías positivas hacia fines de 1991 y comienzos de 1992 con excepción del mes de enero. Este mes registra anomalías negativas en todas las estaciones, con valores de alrededor de 100 mm en Posadas y Formosa. El otro mes particularmente anómalo es diciembre de 1991 con registros extremadamente altos que superan los 150 mm en Posadas, Paraná y Corrientes.

## Posadas

### Precipitación 1991-1992

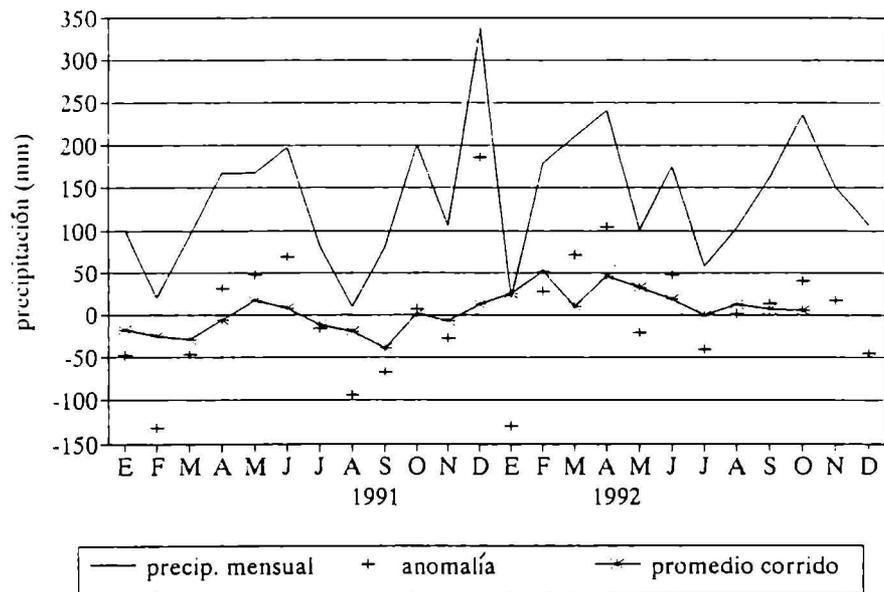


Figura 33

## Formosa

### Precipitación 1991-1992

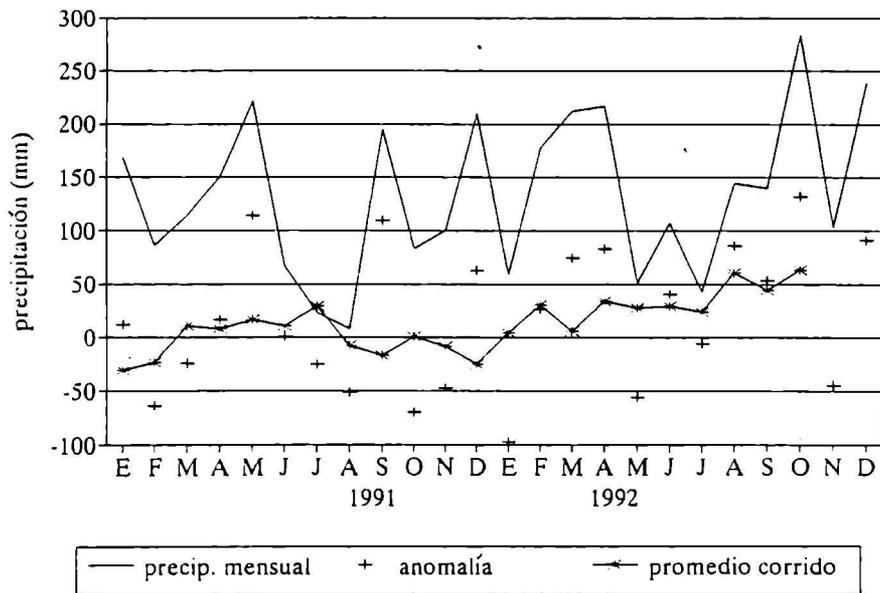


Figura 34

## Corrientes

### Precipitación 1991-1992

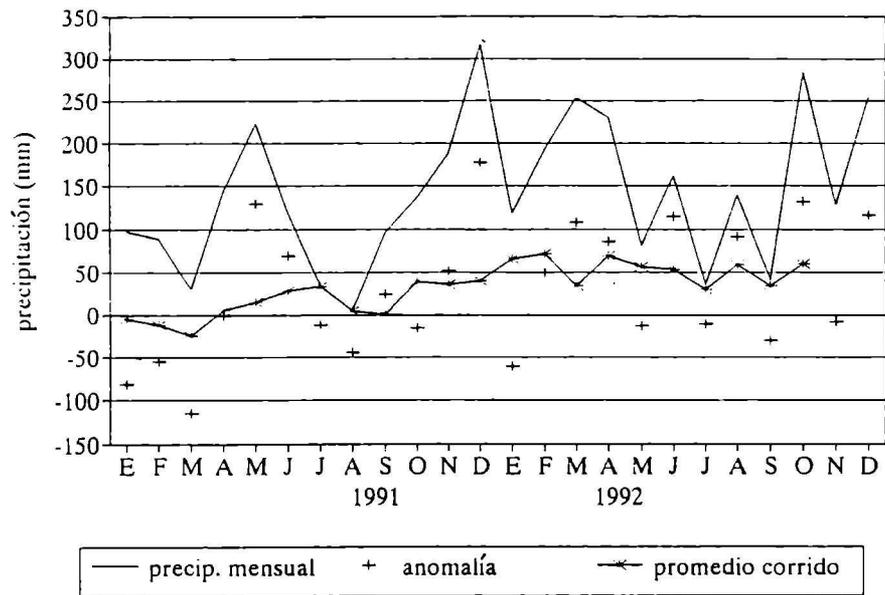


Figura 35

## Resistencia

### Precipitación 1991-1992

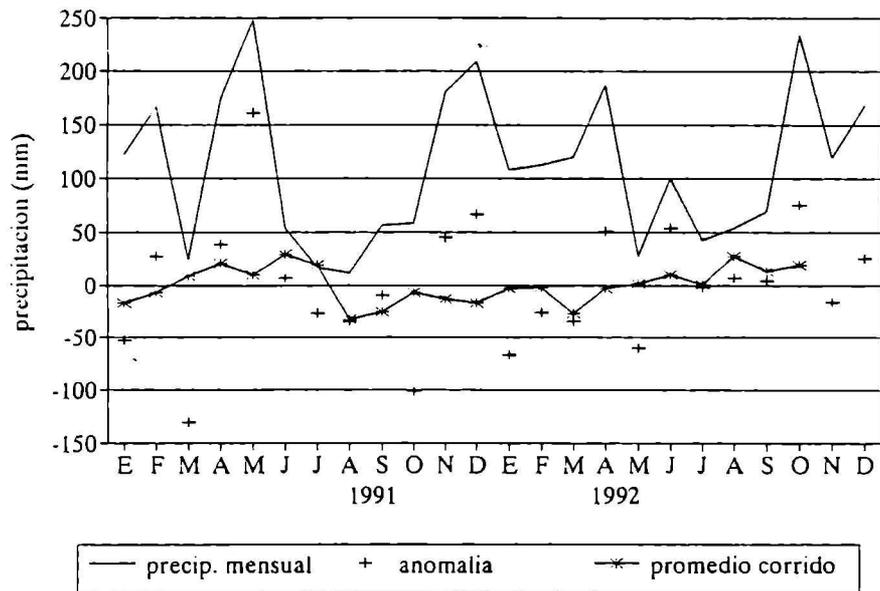


Figura 36

## Paraná

### Precipitación 1991-1992

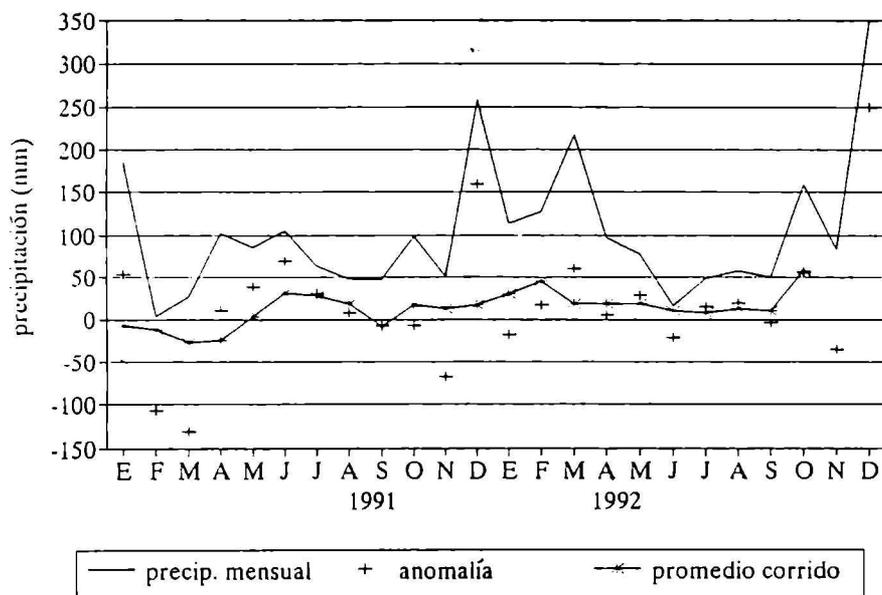


Figura 37

En la Fig. 38 se han representado gráficamente las anomalías mensuales de la precipitación correspondientes al período setiembre de 1991 - junio de 1992 para América del Sur. Esta información constituye una adaptación gráfica de los mapas de proyección estereográfica polar del hemisferio sur que aparecen mensualmente en el Climate Diagnosis Bulletin del Climate Analysis Center. Con distintos sombreados se indican las regiones que registran anomalías pluviales en menos o en más con respecto a los valores medios. El criterio establecido para categorizar estas anomalías surge de ajustar los datos correspondientes al período 1951-80 con una distribución Gamma de probabilidad, clasificando los valores de precipitación de acuerdo al rango del decil (10 % de las observaciones de la serie) en que quedan encuadradas: (Fig. 39)

valores normales	aqueellos que corresponden a los deciles	4, 5, 6, y 7;
bajo lo normal	"	2 y 3
sobre lo normal	"	8 y 9
extremadamente bajo lo normal	"	1
extremadamente sobre lo normal	"	10

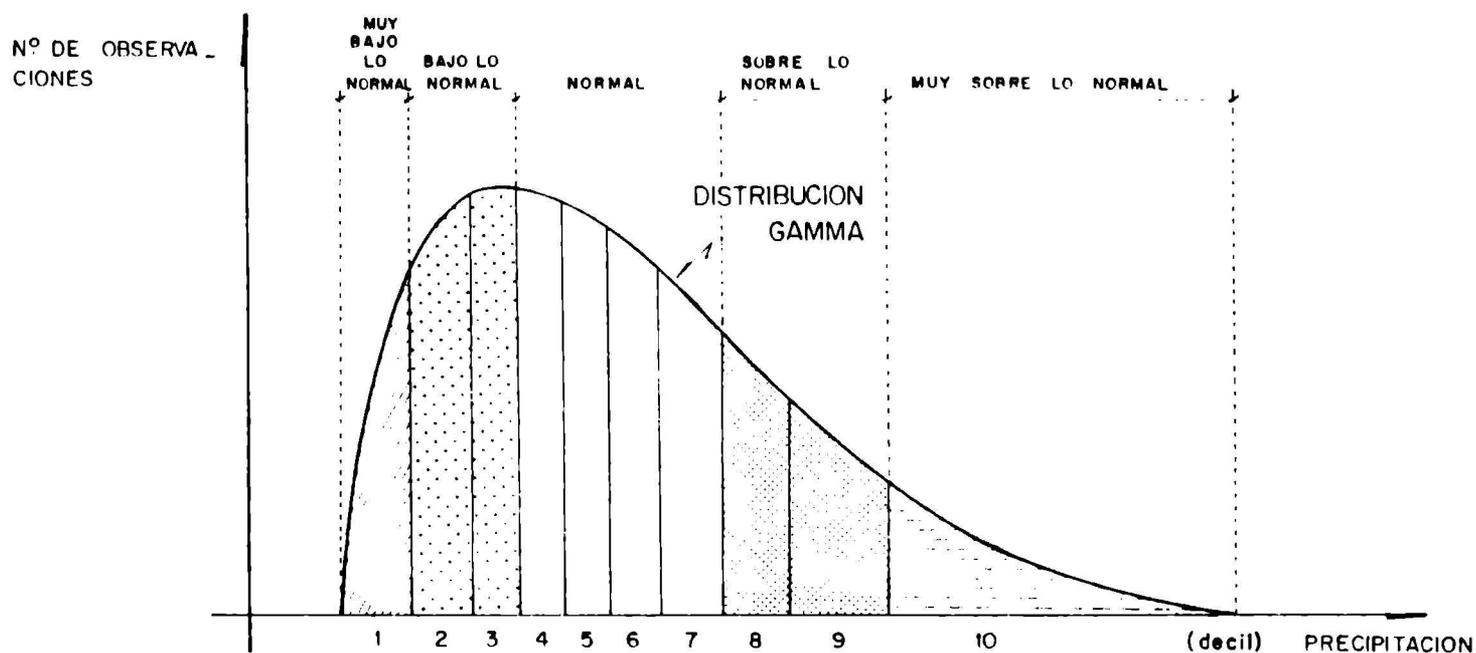


Figura 39. Distribución de ocurrencias de precipitación típica (distribución Gamma) donde se indican los límites que definen los valores normales, superiores o inferiores a lo normal según los deciles resultantes

En setiembre de 1991 se observan anomalías positivas de la precipitación en la zona del Pantanal y del Mato Grosso en general; a su vez hay valores inferiores a lo normal en las nacientes del río Paraná. Durante octubre de 1991 se registraron excesos pluviales en gran parte de Uruguay, provincia de Buenos Aires y nacientes de algunos de los afluentes del Paraná Superior; y una pequeña región con déficits en el noreste de Argentina y sur de Paraguay. El mes de noviembre se caracterizó por precipitaciones dentro de lo normal y diciembre, por excesos pluviales en la mayor parte de la cuenca, incluyendo la provincia de Santa Fe y norte de Buenos Aires. Interrumpiendo una secuencia de meses caracterizados por valores de precipitación normales o sobre la normal, el mes de enero de 1992 registra déficits pluviales en la cuenca media y superior del Paraná, parte del Paraguay con algunos extremos que se ubican dentro del primer decil (10% más bajo de las observaciones de precipitación registradas en el período 1951-

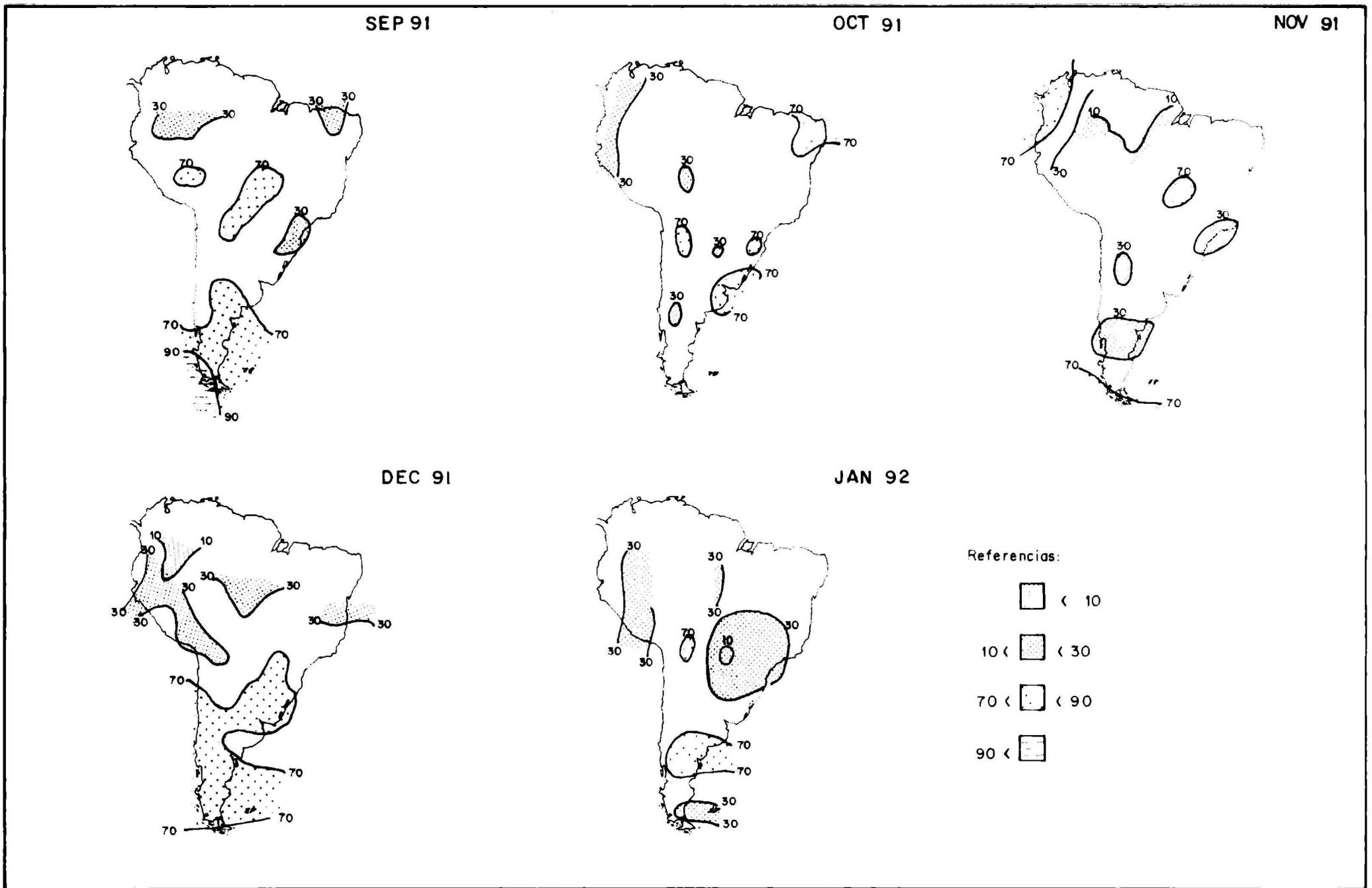


Figura 38 a). Anomalías mensuales de la precipitación en porcentajes para América del Sur. (Fuente: adaptado del Climate Diagnosis Bulletin, set 1991-jun 1992).

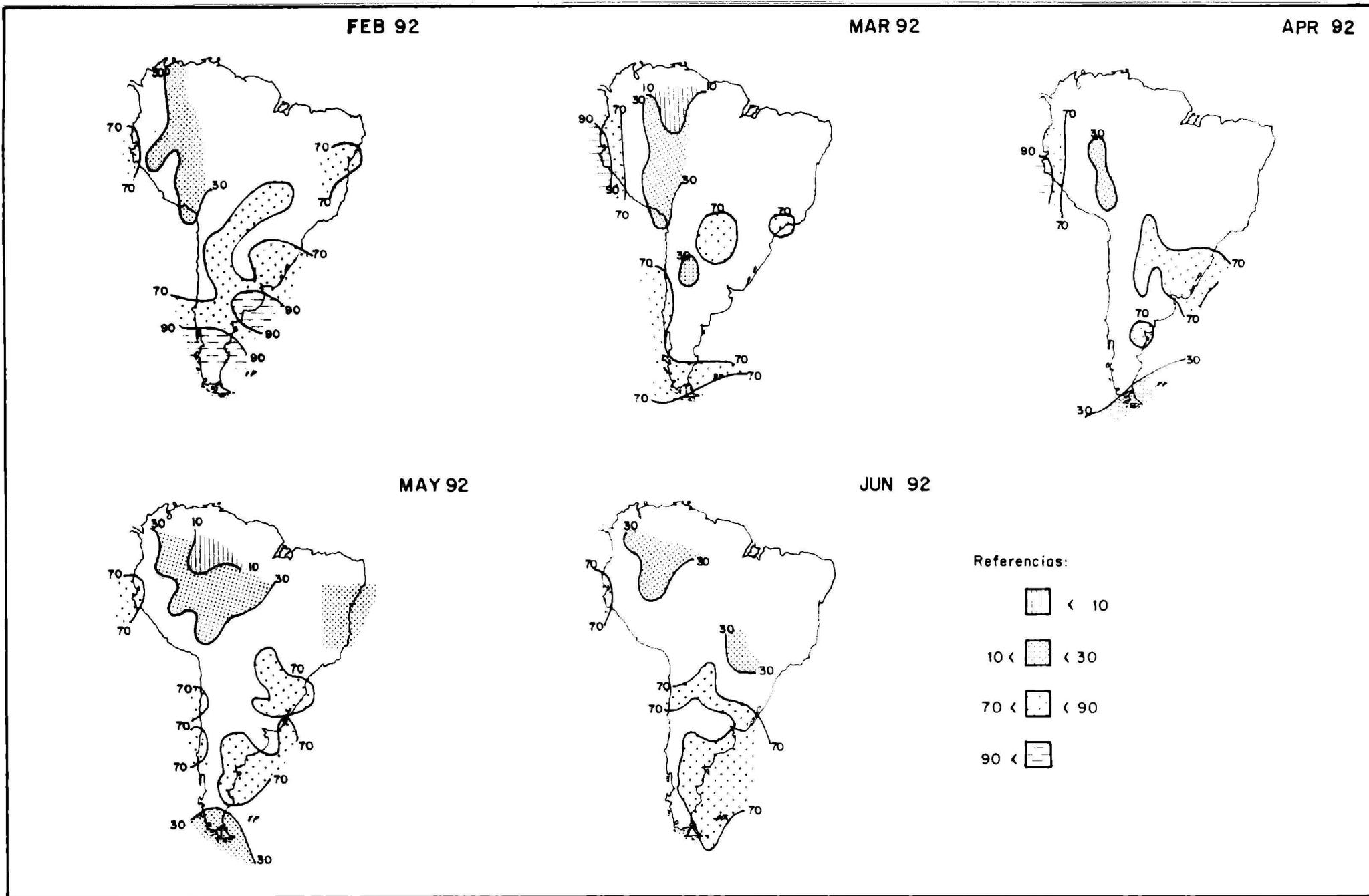


Figura 38 b). Anomalías mensuales de la precipitación en porcentajes para América del Sur.(Fuente: adaptado del Climate Diagnosis Bulletin, set 1991-jun 1992).

80). En febrero aparecen nuevamente excesos en la precipitación que superan los valores normales en todo Uruguay, sur de Brasil, parte de la mesopotamia argentina y Paraguay. Estas anomalías se reiteran en gran parte de la cuenca durante los meses de marzo, abril, mayo y --en menor grado-- junio. En este último mes comienzan a aparecer déficits pluviales en la cuenca superior del Paraguay.

Resumiendo, se puede concluir que durante el período setiembre de 1991 - junio de 1992 y en correspondencia con la aparición del fenómeno de El Niño se registraron diversas anomalías pluviales que excedieron los valores medios característicos en distintas regiones de la cuenca en estudio. Dentro de este episodio eminentemente húmedo, se destaca la interrupción que acontece durante enero de 1992 con registros notablemente inferiores a lo normal.

#### *3.3.3.3. La Niña de 1988-89*

Como ya se ha mencionado, hacia fines de 1988 y comienzos de 1989 se produjo un evento La Niña, caracterizado por una intensificación de los vientos alisios, mayor surgencia, elevación de la termoclina y en consecuencia TSM más frías. Si El Niño está asociado a excesos pluviales en el sur de Brasil y noreste de Argentina, La Niña, su fase opuesta, debiera estar vinculada a los déficits.

Los caudales del río Paraná en Corrientes muestran anomalías negativas desde octubre de 1988 hasta enero de 1989 (Fig. 40). El mayor déficit se registra en diciembre y fue del orden de los 5.000 m<sup>3</sup>/s por debajo del promedio. Antes y después del período de déficits, se registran anomalías positivas, particularmente entre mayo y setiembre de 1988 y durante febrero de 1989.

En el caso de Posadas (Fig. 41), se nota un período de mínimos caudales hacia fines de 1988 (octubre a diciembre) seguido de un pico de crecida para el mes de febrero.

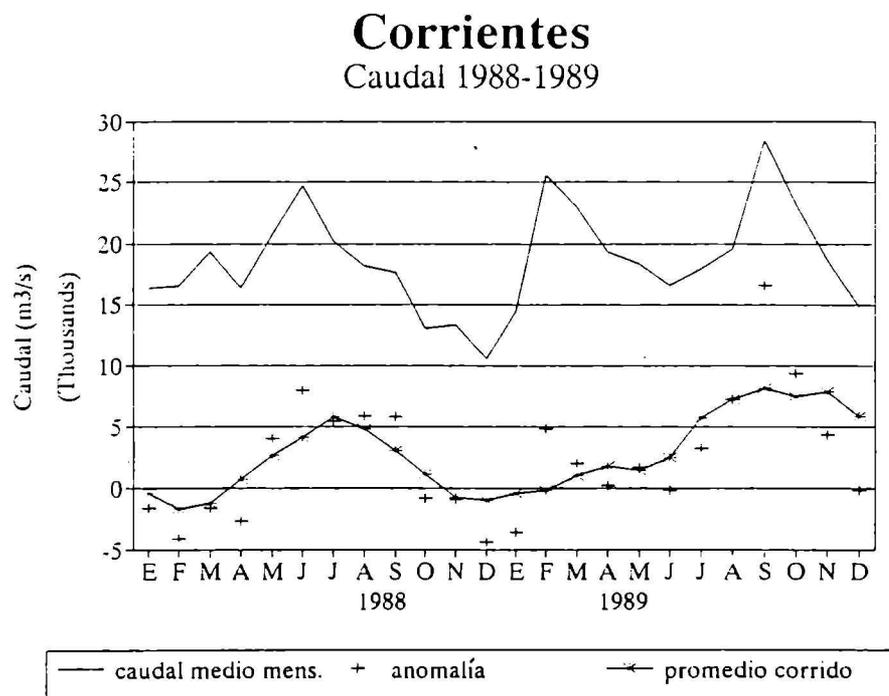


Figura 40

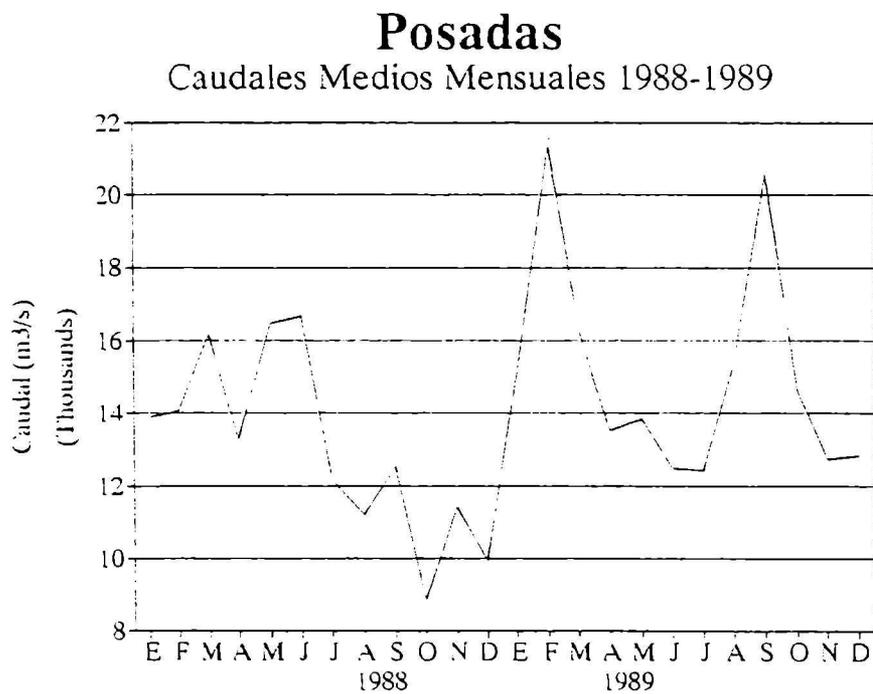


Figura 41

Pilcomayo (Fig. 42) presenta una variación en el año acorde al hidrograma medio (Fig. 15) aunque destacándose valores atípicamente altos en los meses de julio y agosto y bajos en noviembre, diciembre y enero de 1989.

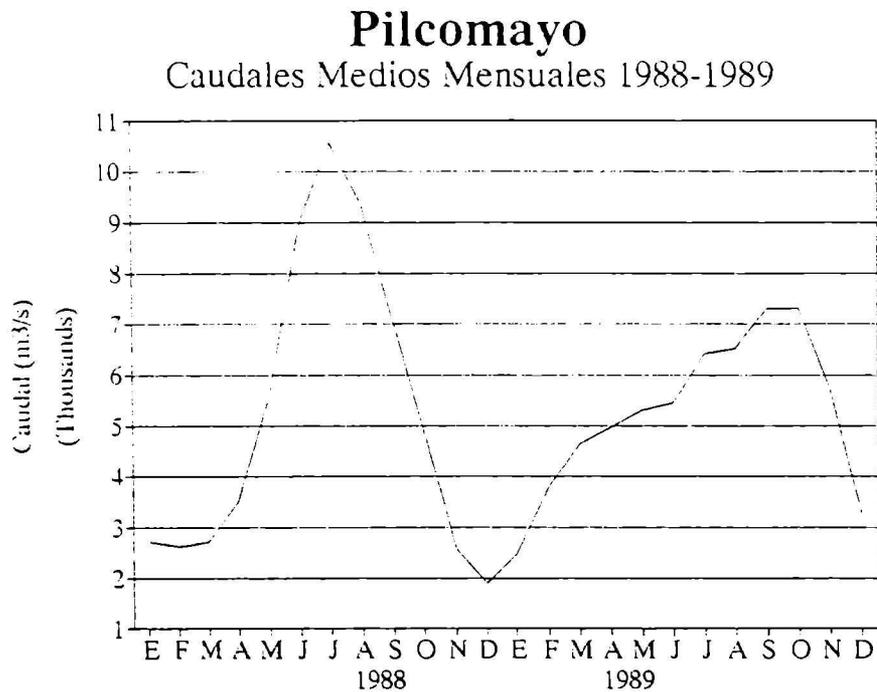


Figura 42

Si bien en las tres estaciones consideradas, Corrientes, Posadas y Pilcomayo, se verifican caudales bajos concurrentes con el fenómeno de La Niña, podría dudarse si esta señal es indicativa de una temporada de sequía. Al respecto es menester tener en cuenta el efecto regulador de los caudales del río Paraná, causado por las represas de la cuenca Superior. Si para mantener un adecuado nivel de generación de energía eléctrica se liberan aguas acumuladas en el embalse, los caudales aguas abajo resultarán mayores a lo que correspondería si no existiera la presa. Si se verificara este efecto, señalaría que los caudales mínimos que se muestran en las Figs. 40, 41 y 42 pueden indicar

deficiencias aún mayores.

Los gráficos de precipitación (Fig. 43 a 47) indican en general condiciones de déficits pluviales para 1988 y comienzos de 1989. En Posadas y Formosa los primeros meses del año 1989 presentan amplios desvíos positivos y negativos respecto de los valores medios. En Corrientes y Resistencia, los meses de marzo y abril de 1989 registran precipitaciones extremadamente altas (anomalías de más de 100 y 150 mm respectivamente). En Paraná, las anomalías negativas se extienden durante todo el primer semestre de 1989.

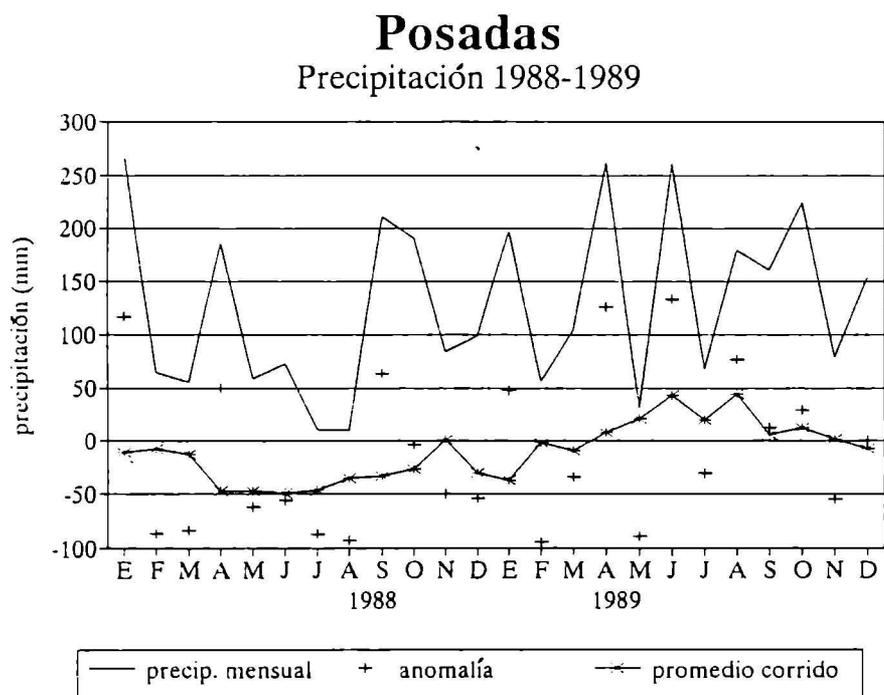


Figura 43

## Formosa

### Precipitación 1988-1989

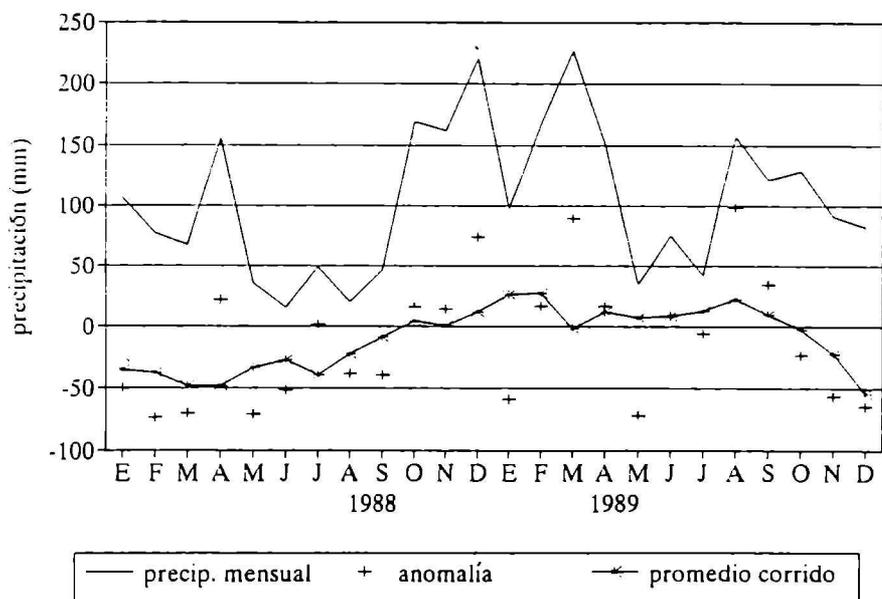


Figura 44

## Corrientes

### Precipitación 1988-1989

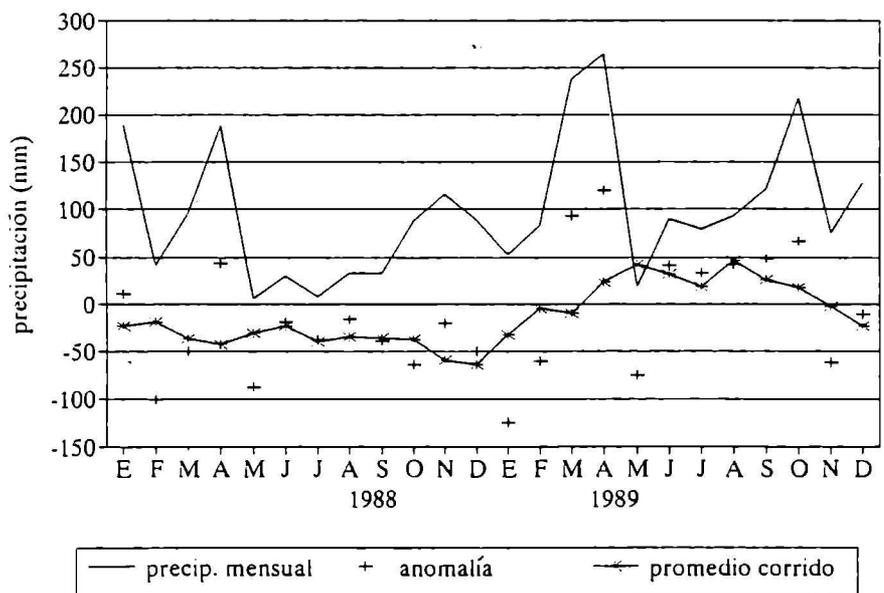


Figura 45

## Resistencia

### Precipitación 1988-1989

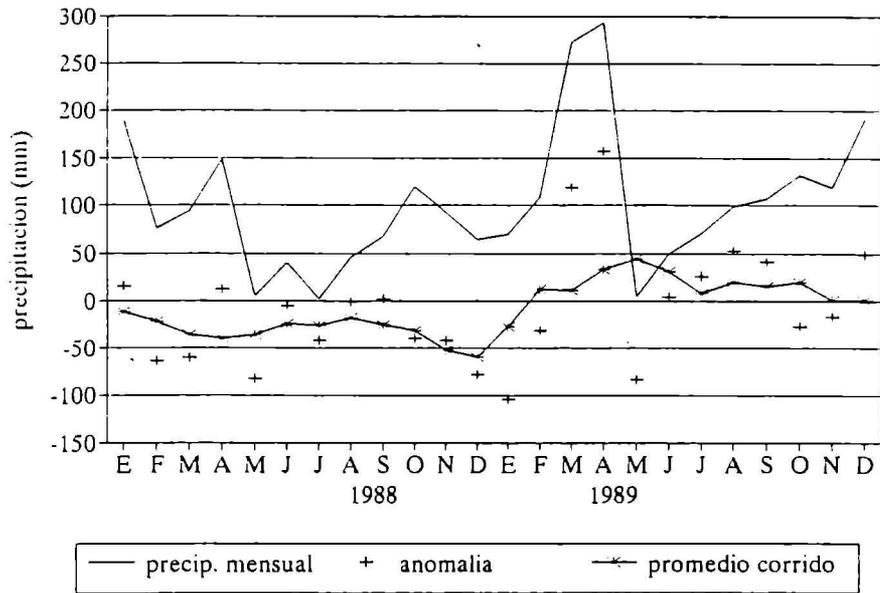


Figura 46

## Paraná

### Precipitación 1988-1989

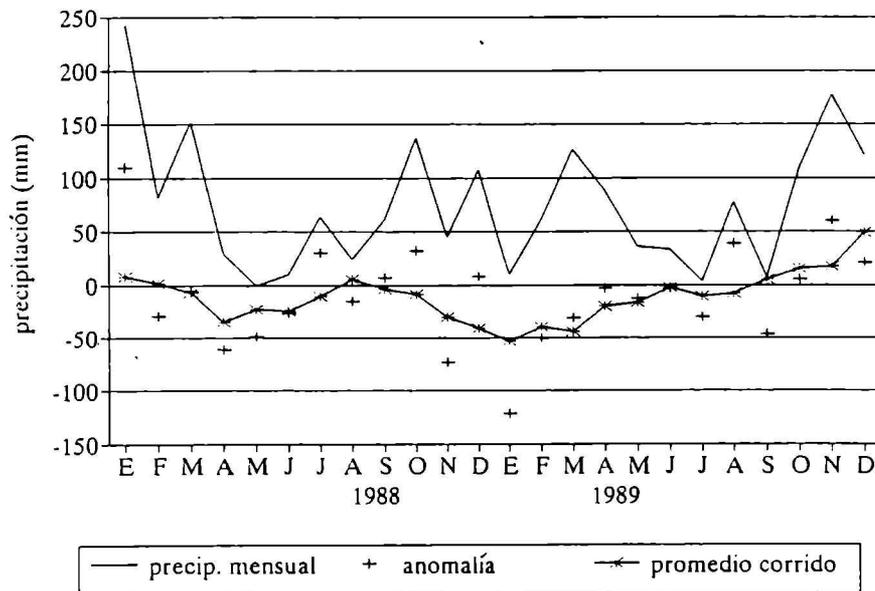


Figura 47

De la misma manera que en el apartado anterior, se presentan en la Fig. 48 las anomalías mensuales de precipitación del período setiembre de 1988 - febrero de 1989 para América del Sur (Fuente: Climate Analysis Center). En setiembre de 1988 se observa una pronunciada región de anomalías pluviales inferiores a lo normal que abarca la cuenca del río Paraguay y parte del Alto Paraná. Si bien en octubre de 1988 gran parte de la cuenca del Paraná recibe valores normales de precipitación, muestra déficits en el Alto Paraná y cuenca del Paraguay. Noviembre registra valores normales para la mayor parte de la cuenca, con déficits pluviales en las nacientes del Paraná y su curso inferior mientras que diciembre de 1988 es normal para casi toda la cuenca. En enero de 1989 se registran déficits en el Paraná inferior y algunos valores sobre lo normal en sus nacientes. También aparecen valores pluviales debajo de lo normal en el Paraná medio en el mes de febrero de 1989.

En síntesis, se puede expresar que durante el período setiembre de 1988-febrero de 1989 se registran déficits pluviales o valores normales en toda la cuenca del Paraná. Todo esto configura una situación pluvial mayormente deficitaria, sobre todo en la cuenca media e inferior del Paraná.

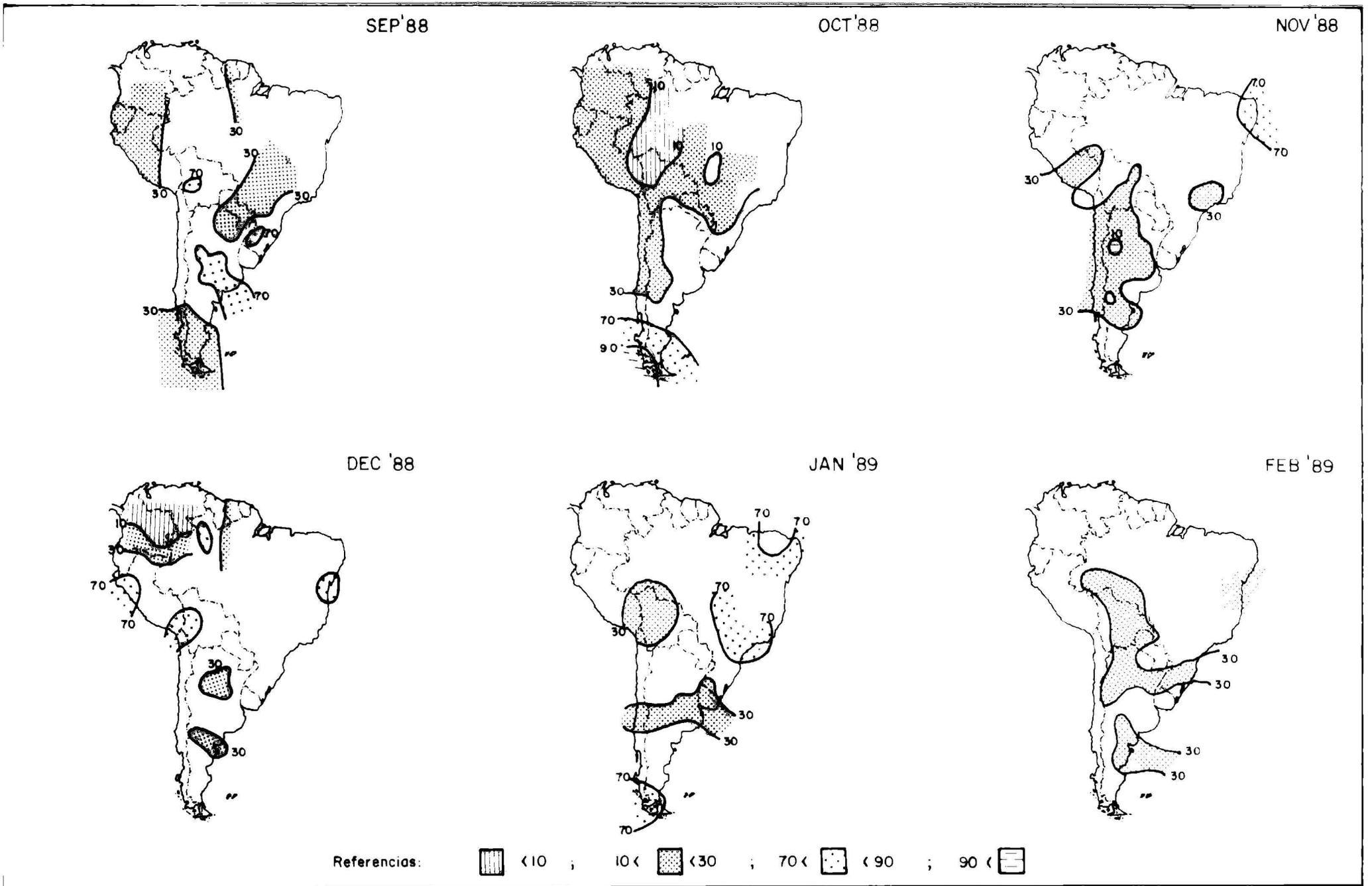


Figura 48. Anomalías mensuales de la precipitación en porcentajes para América del Sur. (Fuente: adaptado del Climate Diagnosis Bulletin, set 1991-jun 1992).

#### 3.3.3.4. El ENOS a lo largo del presente siglo

Como Darwin, Australia, se encuentra ubicada aproximadamente en uno de los centros de la OS, los cambios en la presión a nivel del mar en este lugar pueden tomarse como un índice de esta oscilación y de los mayores eventos ENOS del pasado ya que los registros se remontan a 1882 (los de Tahití son recién comienzan a mediados de este siglo). La Fig. 49 muestra las anomalías de la presión en Darwin, suavizadas para eliminar "ruidos" (fluctuaciones con períodos inferiores a un año). Los valores positivos corresponden a los episodios ENOS y el de 1982-83 es el mayor registrado.

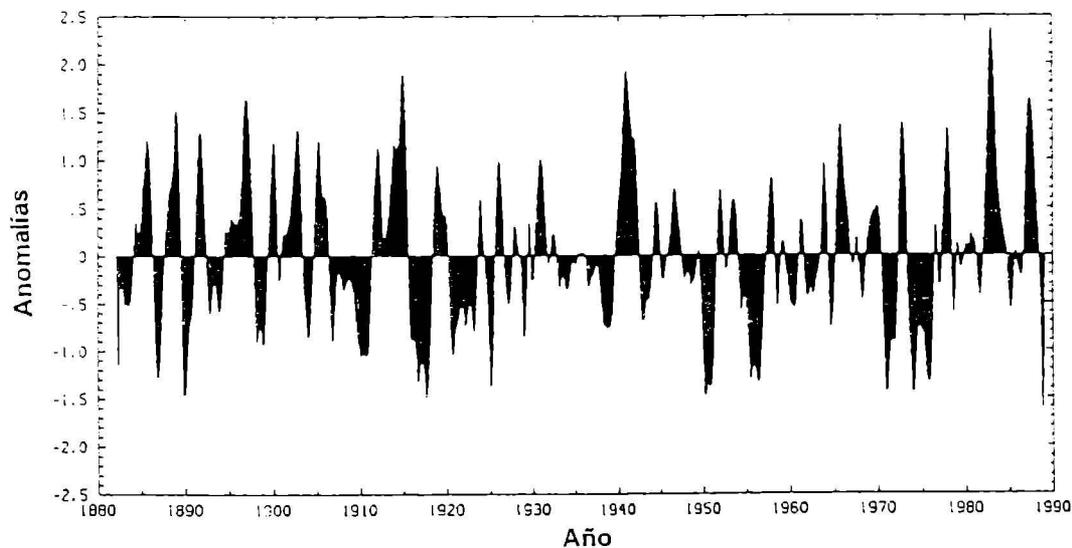


Figura 49. Anomalías de la presión en Darwin desde 1882, suavizadas con un filtro de 11 puntos. (Fuente: Trenberth, 1991).

No todos los fenómenos El Niño son iguales y un análisis de su variación a lo largo del siglo muestra que hasta mediados de la década de 1920 se registraron fenómenos de mucha intensidad y variación bastante irregular que llevaron a Walker a documentar y nominar al fenómeno. Desde ese momento hasta fines de la década del '60, los Niños son mayormente de poca intensidad salvo dos excepciones a comienzos de la

---

década del '40 y a fines de la del '60. Desde 1970 en adelante, pareciera como si nuevamente cambiara el régimen de ocurrencia de los fenómenos El Niño: se producen episodios mucho más intensos y con mayor frecuencia. La mayoría de los estudios sobre el fenómeno se concentran en este último período.

Dentro de este contexto, es bastante aceptable suponer que los patrones de vinculación entre las crecidas en el Paraná y El Niño anteriores a 1970 pueden no ser representativos de los actuales. Es por esta circunstancia que un estudio como éste, con énfasis en los últimos diez años puede considerarse válido aún cuando el número de años que lo constituye sea reducido desde un punto de vista climatológico.

#### 4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este estudio se ha tratado de recopilar la información existente sobre el fenómeno ENOS y las crecidas extraordinarias en el Paraná medio procurando vincular a ambos. En particular, se realizó este intento para los fenómenos ocurridos con posterioridad al evento de 1982-83: los episodios El Niño de 1986-87 y 1991-92 y La Niña de 1988-89.

Durante este período existe una mayor disponibilidad de información publicada en resúmenes mensuales editados en distintos países, que siguen cuidadosamente la marcha de las temperaturas del Pacífico ecuatorial, los índices que caracterizan la Oscilación del Sur y las anomalías climáticas (pluviales y térmicas) en todo el globo. Todo esto se origina en la presunción, hoy científicamente aceptada, de que El Niño es un precursor de anomalías climáticas muy distantes con las cuales se encuentra "teleconectado", conclusión surgida con posterioridad a El Niño de 1982-83.

El análisis de los dos episodios de El Niño, concurrentes con crecidas en el Paraná medio y un episodio La Niña contemporáneo a un período de sequías con caudales bajos en la misma zona, permite inferir algunas conclusiones:

1) En las dos situaciones de El Niño estudiadas se produjeron picos de crecidas entre los meses de mayo y junio del año posterior a El Niño. Esto indicaría que los excesos de caudales en el curso medio del Paraná, se producirían con un retardo de 5 a 6 meses respecto del fenómeno ENOS típico (máximo térmico en diciembre).

2) Las estaciones de precipitación consideradas no dan muestras o presentan ligeras anomalías positivas durante la estación estival concurrente con El Niño.

---

3) El estudio de anomalías de la ROL y de los mapas de anomalías pluviales en América del Sur, muestran que en los dos casos de El Niño estudiados se produjeron excesos de precipitación en distintas partes de la cuenca del Paraná, durante los meses de diciembre a febrero concurrentes con El Niño. Puede considerarse una irregularidad interesante para estudiar en el futuro, el pronunciado déficit pluvial que se registra en enero de 1992 en pleno desarrollo de El Niño, anticipado y proseguido por excesos pluviales.

4) El caso de La Niña se produce concurrente con caudales bajos en la cuenca media del Paraná durante los meses de noviembre e enero. Cabe tener en cuenta el posible efecto moderador ejercido por las represas aguas arriba sobre los caudales.

5) En la mayoría de las estaciones de precipitación consideradas se registran déficits pluviales hacia fines de 1988 y comienzos de 1989 concurrentes con el fenómeno La Niña. Estos datos son plenamente confirmados por los mapas de anomalías pluviales obtenidos del Climate Diagnosis Bulletin.

6) La relación El Niño-excesos pluviales y caudales altos (inundaciones) y La Niña-déficits pluviales y caudales bajos (sequías), puesta en evidencia en este trabajo, ratifica algunos de los resultados de publicaciones anteriores. Se debe destacar que esta relación se verifica en una década anómala con respecto a las anteriores del presente siglo, particularmente por sus condiciones de elevada humedad, al mismo tiempo que concuerda con un período de secuencias de eventos El Niño y La Niña, de mayor frecuencia e intensidad.

Este trabajo deberá ser enriquecido con estudios similares donde se incluyan

---

vinculaciones con otras anomalías climáticas que posibiliten incrementar la capacidad predictiva de los períodos de inundaciones o sequías, a fin de mitigar los lamentables impactos socioeconómicos de estos fenómenos naturales.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Asociación Internacional de Recursos Hídricos (1984). "Las inundaciones en el Cono Sur". Actas del Seminario Latinoamericano de Recursos Hídricos, Buenos Aires, junio de 1984.
- Aisiks, Enrique (1984). "La gran crecida del Paraná de 1983". Boletín Informativo N° 232:3-53, Organización Techint.
- Bonetto, A.; I. Wais; G. Arquez (1988). "Ecological considerations for river regulation of the Del Plata basin according to flatlands characteristics", Water International 13:2-9, IWRA.
- Canby, T.Y. (1984). "El Niño ill wind". National Geographic 165(2):144-183
- Cane, Mark (1983). "Oceanographic events during El Niño". Science 222:1189-1194
- Cane, M. and S.E. Zebiak (1985). "A theory for El Niño and the Southern Oscillation". Science 228: 1085-1087
- Cane, M. (1991). "Forecasting El Niño with a geophysical model", "Teleconnections linking worldwide climate anomalies". Cambridge University Press, Great Britain.
- Cane, M. and S.E. Zebiak (1991). "Lamont-Doherty El Niño forecasters on the mark", Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University, Newsletter, Volume 26.
- Caputo, M.; J. Hardoy y H. Herzer -comp.- (1985). "Desastres y naturales y sociedad en América Latina", Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires
- Caputo, M.G.; J. Hardoy y H. Herzer (1985). "La inundación en el Gran Resistencia. Evaluación de las respuestas frente a la emergencia", Inundaciones y sociedad en el Gran Resistencia, Chaco 1982-83, CLACSO, Ediciones Boletín de Medio Ambiente y Urbanización, Buenos Aires.
- Caputo, M.G. y H. Herzer (1987). "Reflexiones sobre el manejo de las inundaciones y su incorporación a las políticas de desarrollo regional", Desarrollo Económico, Vol 27, n° 106:345-360.
- Cole, J. and R. Fairbanks (1992). "The El Niño/Southern Oscillation system and the record of past climate", Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University,

1990&1991 Report.

- Compagnucci, R. and M.W.Vargas (1993). "Snowfall in the Cordillera de los Andes and the ENSO events". Preprints, 4th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 28 March-2 April, Hobart, Australia.
- Chu, Pao-Shin (1991). "Brazil's climate anomalies and ENSO", "Teleconnections linking worldwide climate anomalies". Cambridge University Press, Great Britain.
- Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO) (1985). "Inundaciones y sociedad en el Gran Resistencia, Chaco 1982-83" Ediciones Boletín de Medio Ambiente y Urbanización, Buenos Aires.
- de la Torre, Cesar del Carmen (1989). "El fenómeno "El Niño", análisis y predicción". Seminario Regional AR III/AR IV sobre Servicios Meteorológicos Marinos y de Técnicas de Predicción Marinas". Buenos Aires, 20 al 24 de noviembre.
- Ereño, C. y J. Valdez (1984). "El fenómeno denominado 'El Niño' y las inundaciones del Paraná". Boletín Informativo N° 235:29-75, Organización Techint.
- Ereño, Carlos (1992). "Las inundaciones de 1982-1983. Una anomalía del clima regional o mundial?", Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, Tomo 19, pp.91-104.
- Franchini, M. y L. Peso (1983). "Las inundaciones en el Gran Chaco", A/Mbiente, V4, N° 39, Buenos Aires.
- Glantz, M. (1991). "Introduction", "Teleconnections linking worldwide climate anomalies". Cambridge University Press, Great Britain.
- Gómez, A. y T. Barnatán (1991). "Desarrollo del actual fenómeno de 'El Niño/Oscilación del Sur y cómo afecta en la República Argentina". Boletín Climatológico Vol III N° 11, Servicio Meteorológico Nacional.
- Herzer, Hilda (1989). "Los desastres no son tan naturales como parecen", Medio Ambiente y Urbanización, N° 30:3-10, IIED, Buenos Aires.
- IRICP (1992). "International Research Institute for Climate Prediction, a proposal", Task Group for the Implementation of IRICP.
- Kerr, R.A. (1986). "Another try at forecasting El Niño", Science 232:155

- Kerr, R.A. (1987). "Capturing El Niño in models", Science 238:1507-1508.
- Kiladis, G. and S. Sinha (1991). "ENSO, monsoon and drought in India", "Teleconnections linking worldwide climate anomalies". Cambridge University Press, Great Britain.
- Organización Meteorológica Mundial (1992). "Glosario Hidrológico Internacional", UNESCO/WMO, Francia.
- Organización Meteorológica Mundial (1992). "Vocabulario Meteorológico Internacional", UNESCO/WMO N° 182, Francia.
- Paoli, Carlos (1987). "Control y protección de crecidas: análisis probabilístico y perfiles de niveles máximos", INCYTH, Centro Regional Litoral, Santa Fe.
- Ramage, Colin R. (1986). "El Niño". Scientific American 254:76-83.
- Rasmusson, E. and J. Wallace (1983). "Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation". Science 222: 1195-1202
- Rasmusson, E. (1991). "Observational aspects of ENSO cycle teleconnections", "Teleconnections linking worldwide climate anomalies". Cambridge University Press, Great Britain.
- Servicio Meteorológico Nacional (1992). "El fenómeno de "El Niño" y la Oscilación del Sur". Boletín Informativo N° 54.
- Servicio Meteorológico Nacional (1992). "Consecuencias de las condiciones meteorológicas anormales en 1992", Gacetilla N° 3/93
- Trenberth, K. (1991). "General characteristics of El Niño-Southern Oscillation", "Teleconnections linking worldwide climate anomalies". Cambridge University Press, Great Britain.
- Vargas, Walter (1987). "El clima y sus impactos. Implicancias en las inundaciones del noroeste de Buenos Aires", Boletín Informativo N° 250:9-44, Organización Techint.
- Viladrich, A.; O. Moscardini y V. Capilouto (1992). "Crecidas: miseria y opulencia", Realidad Económica N° 109:32-53, IADE, Buenos Aires.

- Viladrich, A.; O. Moscardini y V. Capilouto. "Crecidas: miseria y opulencia" Parte II, inédito.
- Zebiak, Stephen (1992). "El Niño and natural short-term variability", Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University, 1990&1991 Report.

### **Artículos Periodísticos**

- "Inundaciones, No hay un único culpable", Clarín, 14/7/92
- "Las causas de una catástrofe que se repite", La Nación, 23/6/92
- "Todo el Litoral en estado de alerta máximo", "Dicen que la corriente de El Niño es la responsable", "Otros le echan la culpa a la deforestación en Brasil", Clarín 2/6/92
- "El Niño no tiene la culpa", Página 12, 10/3/92
- "Un Niño aguló las vacaciones", Clarín, 22/1/92
- Kerr, R.A., (1991). "El Niño winners and losers declared". Science 251: 1182.
- Kerr, R.A., (1992). "A successful forecast for an El Niño winter". Science 255: 402.

### **Datos**

- Agua y Energía Eléctrica (1981), "Estadística Hidrológica hasta 1980, Fluviometría", MOSP.
- Servicio Meteorológico Nacional (1992). "Estadísticas Climatológicas 1981-1990", Serie B N° 37.
- Servicio Meteorológico Nacional, "Boletín Climatológico", enero 1986-diciembre 1992.
- Climate Diagnosis Bulletin, Climate Analysis Center, U.S. Department of Commerce, NOAA, National Weather Service, National Meteorological Center. (february 1987; september 1988-february 1989; september 1991-june 1992; july 1993)

## **APENDICE: La predicción de El Niño**

La predicción de El Niño puede realizarse mediante análisis, pronóstico y prognosis del estado del tiempo y del clima según el método clásico; análisis e interpretación de imágenes tomadas por Satélites Meteorológicos; y modelos. Estos últimos se construyen para la predicción y pronósticos y existen distintos tipos tales como los físicos (representación a escala de la realidad) y los numéricos.

Entre los modelos numéricos encontramos: a) los modelos dinámicos para la atmósfera, que se ocupan de la respuesta de la atmósfera tropical al calentamiento oceánico; b) los modelos dinámicos para el océano que simulan el proceso inverso, es decir, la respuesta del océano a la atmósfera; y c) modelos acoplados océano-atmósfera, que contemplan las interacciones entre ambos.

En 1982, Mark Cane y Stephen Zebiak del Observatorio Geológico Lamont-Doherty de la Universidad de Columbia, desarrollaron un modelo basado en leyes físicas que describe la evolución del ciclo ENOS. Este modelo predice El Niño por medio de la integración numérica de ecuaciones que describen la dinámica y termodinámica del océano y de la atmósfera (Cane, 1991). Los modelos dinámicos tienen la ventaja de predecir los eventos a medida que transcurre el tiempo; también proporcionan un medio para la interpretación física de lo que simulan. Esto se da especialmente cuando el modelo ha sido simplificado de manera tal que sólo se incluyen los procesos esenciales.

El modelo de Cane y Zebiak utiliza los registros de vientos tomados por los barcos que navegan en el Pacífico para generar las condiciones de temperatura y corrientes del Pacífico tropical. De esta manera considera la retroalimentación entre el gradiente de

---

temperatura en el Pacífico ecuatorial y los vientos del este en esta zona. Como el gradiente de temperatura conduce los vientos que normalmente acumulan las aguas cálidas en el oeste, un calentamiento en el este produciría un debilitamiento del gradiente y en consecuencia, de los vientos, llevando este proceso a un mayor calentamiento. El otro elemento clave en este modelo es la condición de que el contenido de calor en las capas superiores del Pacífico tropical sea mayor que el promedio. Sin esta precondition, la retroalimentación no sería efectiva.

Junto con el modelo, los autores han desarrollado una teoría sobre la génesis y mantenimiento del ciclo ENOS, ya que de otra manera sería imposible fiarse de los resultados de un modelo cuyo sustento es desconocido. La recurrencia de El Niño a intervalos irregulares es considerada como resultante de procesos estrictamente internos, es decir, sin perturbaciones impuestas. El análisis del modelo ayudó a desarrollar esta teoría --ampliamente aceptada hoy en día-- que trata al ENOS como un modo interno de oscilación del sistema acoplado atmósfera-océano; perpetuado por un continuo desbalance entre los vientos y las TSM por un lado, y el reservorio de aguas cálidas subsuperficiales por el otro (Zebiak, 1992). La idea central es que el océano se comporta de diferente manera en el ecuador que en cualquier otra parte. Durante un evento El Niño, el agua no sólo se mueve de oeste a este sino que también se desplaza hacia el polo vaciando el reservorio de agua cálida en el ecuador. Cuando ya no hay suficiente agua caliente para mantener la TSM en el este por encima de lo normal, El Niño comienza a decaer. La vuelta del fenómeno no ocurrirá hasta que vuelva suficiente agua cálida desde latitudes más altas para llenar el reservorio ecuatorial que alimenta a El Niño. (Fig. 1) La cuestión clave es, en palabras de Cane y Zebiak, "no lo que desencadena un Niño sino si el 'arma' climática está cargada o no" (Cane y Zebiak, 1991:2).

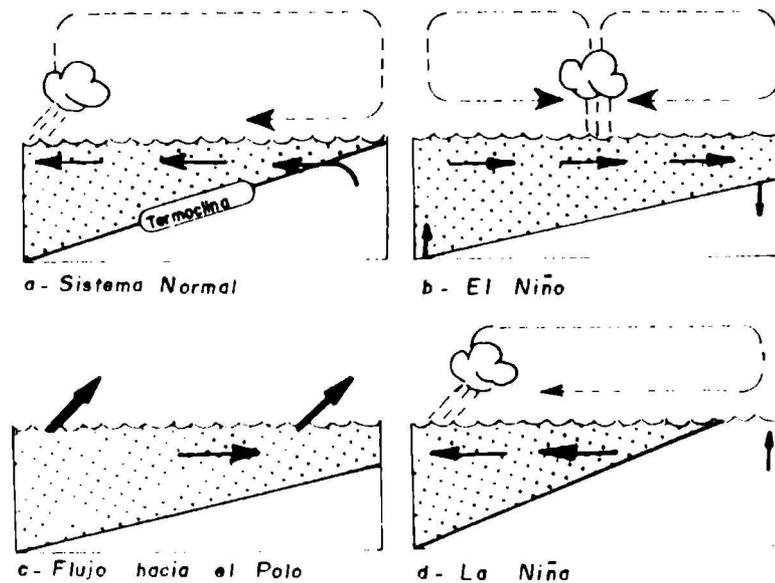


Figura 1. Fases del ciclo ENOS. (Fuente: Zebiak, 1992)

Zebiak y Cane probaron su modelo haciendo predicciones basadas en datos pasados y comparándolas directamente con lo que pasó en la realidad (simulación de eventos pasados); de esta manera descubrieron que el modelo podía pronosticar El Niño con más de un año de anticipación. La primera predicción real fue en 1986, cuando anticiparon El Niño de 1986-87, aunque no pudieron predecir la fecha exacta de su aparición (este fenómeno se desarrolló más tarde que lo normal). El evento de 1991-92 fue predicho con más de un año de antelación (Fig. 2) y anunciaron que 1990, cuando todo parecía indicar que se iniciaba un fenómeno, no sería un año de El Niño. Hasta el momento, si bien es experimental, el modelo parece ser un éxito.

Existen también otros modelos, como los de Barnett del Scripps Institute of Oceanography y Storch del Max Plank Institute for Meteorology (MPI), que utilizan técnicas estadísticas para analizar la variabilidad mensual en el Pacífico tropical. Estos esquemas se basan fundamentalmente en los vientos como factor precursor de cambios en la TSM.

Observed SSTA for December 1991 ( C )



12-Month Lead Forecast SSTA for December 1991 ( C )

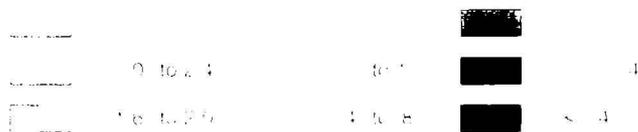
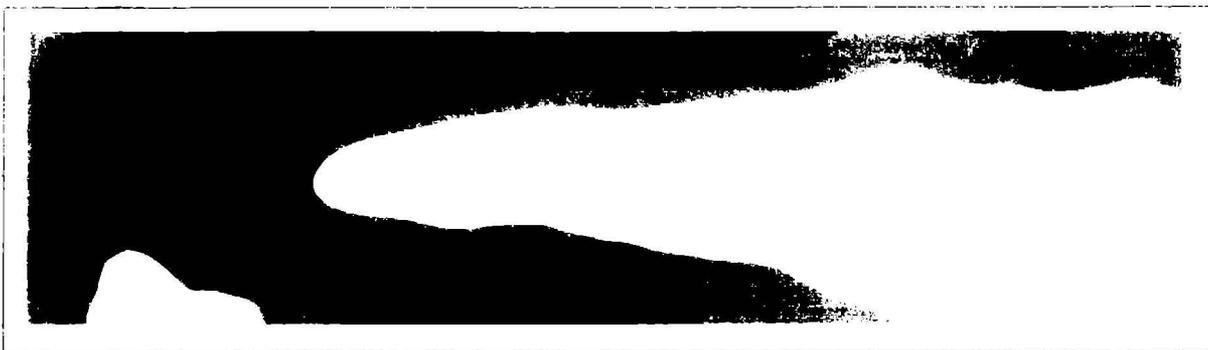


Figura 2. Anomalías de la TSM observadas y pronóstico de 12 meses de anticipación en el Pacífico tropical para diciembre de 1991 según el modelo de Cane y Zebiak.

(Fuente: IRICP, 1991)

---

Los científicos del MPI realizaron una simulación retrospectiva integrando su modelo de circulación general con datos de la TSM y demostraron que --siempre y cuando las TSM estén bien especificadas-- el modelo podría arrojar los principales efectos atmosféricos, principalmente en los trópicos y en algunas áreas extratropicales tomadas como caso de estudio. Este ejemplo indica la importancia de la predicción de la TSM en la predicción climática en los trópicos y en regiones específicas fuera de los mismos (IRICP, 1991).

El Climate Analysis Center (CAC) dependiente del National Meteorological Center de Estados Unidos realiza rutinariamente predicciones de tres meses de la TSM en el Pacífico central, basadas en las técnicas del análisis canónico de correlación. Estas predicciones son publicadas en el boletín mensual editado por dicho centro (Climate Diagnostics Bulletin). Los dos últimos eventos El Niño demostraron que este análisis no fue siempre certero. En 1986 el CAC anunció que los signos que indicaban la presencia de un Niño se habían disipado y que no se produciría el evento. Sin embargo, tal como lo habían indicado los modelos de Cane y Zebiak y de Barnett, se desarrolló un episodio El Niño moderado (que se inició tardíamente en agosto). Algo similar ocurrió en 1990, cuando el CAC pronosticó un evento para ese año (Kerr, 1991 y 1992). A partir de 1990 el CAC publica en su sección de predicción los pronósticos experimentales de un modelo acoplado atmósfera-océano desarrollado en el National Meteorological Center y los pronósticos del modelo de Cane y Zebiak. En la Fig. 3 se observan los pronósticos de anomalías de la TSM según el modelo acoplado del NMC.

Los datos utilizados en los pronósticos (básicamente vientos y TSM) provienen de barcos, boyas lanzadas a la deriva, mediciones terrestres en islas y sensoramiento remoto. Con el fin de mejorar estas fuentes se anunció que en los próximos años se colocará una considerable cantidad de boyas por todo el Pacífico tropical para completar la red

## PREDICCIÓN DE ANOMALIAS DE LA TSM

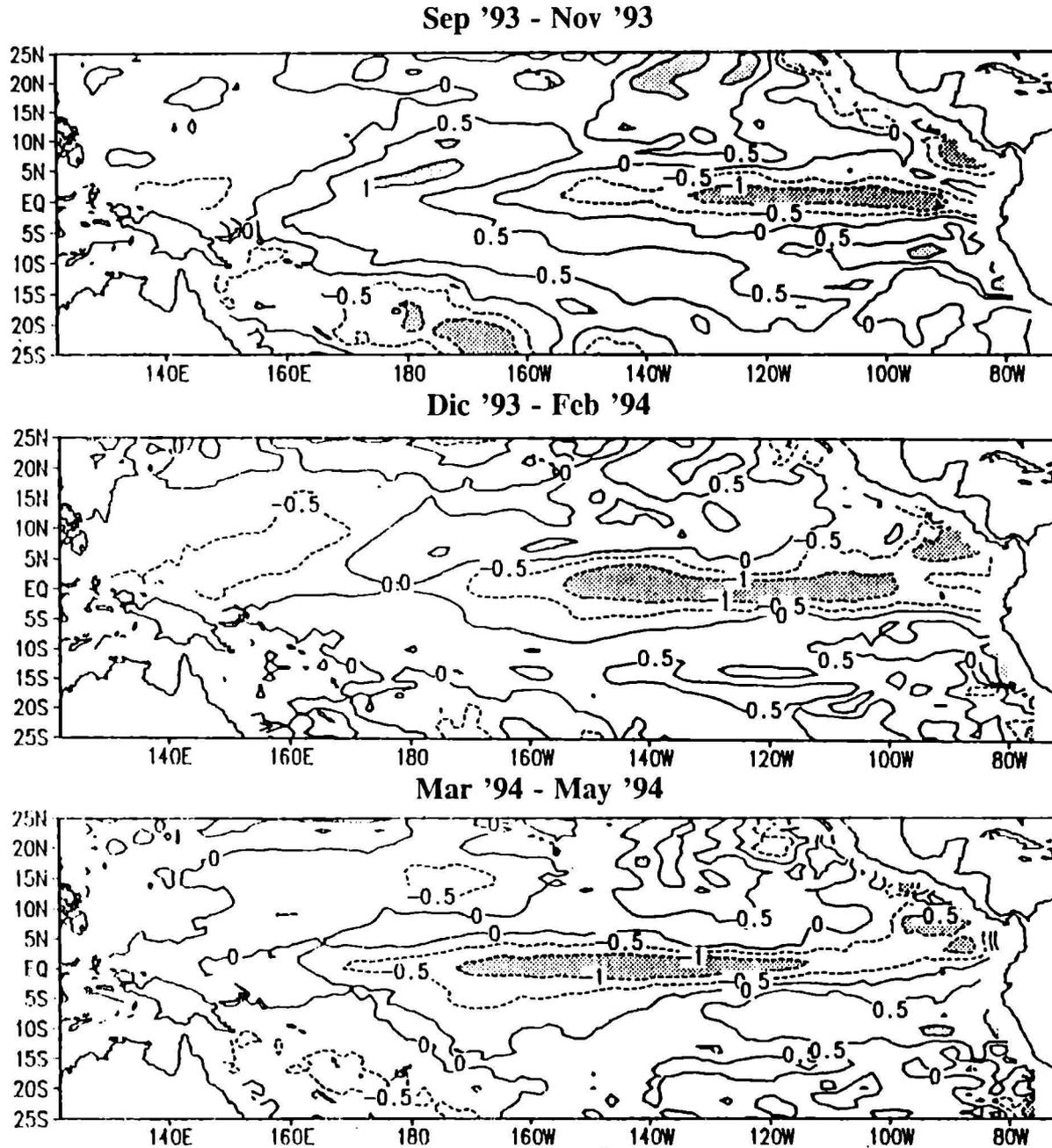


Figura 3. Predicción de anomalías de la TSM para a) setiembre-noviembre de 1993, b) diciembre 1993-febrero 1994 y c) marzo-mayo de 1994. Las predicciones son promedio de tres series de pronósticos iniciados el 1 de julio, el 1 de agosto y el 1 de setiembre respectivamente. Los pronósticos son el resultado de un modelo acoplado océano-atmósfera desarrollado en el National Meteorological Center. El intervalo de isolíneas es de 0.5 °C. Las anomalías negativas se indican con líneas de trazos. El sombreado suave representa anomalías positivas entre 0.5 y 1 °C y el más oscuro, anomalías mayores que 1 °C o menores que -1 °C. (Fuente: Climate Diagnosis Bulletin, august 1993)

---

necesaria. Esto se hará dentro del marco del programa TOGA (Océano Tropical y Atmósfera Global), que desarrolla un Programa sobre Predicción Estacional e Interanual (para mayor información sobre TOGA y otros programas para el Pacífico tropical, ver Valdéz y Ereño, 1984; de la Torre, 1989; IRICP, 1991).

Todos los modelos se basan en datos cuyo registro abarca sólo unas décadas y en consecuencia, no son necesariamente representativos de todos los eventos. Para estudiar la variabilidad del ENOS en el largo plazo, es decir desde tiempos más distantes y comprender su comportamiento pasado, se debe recurrir al enfoque paleoclimático. Para el estudio de El Niño en el pasado, se cuenta con los registros derivados de los glaciares tropicales, los corales y los anillos de los árboles. En el caso de los glaciares, existe una relación entre los eventos ENOS y la acumulación de nieve; y en el de los corales, la relación se establece con el contenido de un isótopo de oxígeno que varía de acuerdo con la temperatura y con el balance evaporación-precipitación en la superficie del mar (Zebiak, 1992; Cole y Fairbanks, 1992).

### **6.1. Aplicación y beneficios de los modelos**

En los países tropicales cuyas sociedades son básicamente agrarias, las inundaciones y sequías provocan graves impactos en la economía local. Como es sabido, los eventos ENOS producen alteraciones en las precipitaciones de muchos países tropicales y extratropicales, basta recordar los efectos de El Niño de 1982-83 (Tabla 1).

Las sociedades tropicales en general no están preparadas para ajustarse a desviaciones bruscas de los regímenes climáticos normales. Gracias a los recientes avances en la predicción de El Niño, los científicos de distintos países pudieron valerse

de la información disponible sobre el ENOS y los pronósticos experimentales existentes, para anticiparse a las precipitaciones y mitigar los impactos socioeconómicos de la variabilidad climática interanual.

En varios países, organismos gubernamentales se encargan de monitorear regularmente la evolución del ENOS: Perú, Ecuador, Australia, Brasil, India, China, Etiopía y Estados Unidos. Perú muestra un buen ejemplo de la utilidad de los pronósticos basados en esta valiosa información. En 1986, apoyándose en las predicciones de los científicos sobre las próximas precipitaciones, el gobierno estableció un plan piloto para ayudar al sector rural a determinar la combinación de cosechas adecuada. De esta manera se optimizó la producción de arroz y algodón a pesar de los caprichos del clima. En 1987, bajo los efectos del evento moderado de 1986-87, el producto bruto del sector agropecuario se incrementó en un 3% en contraposición a la caída del 14% que tuvo lugar luego de El Niño de 1982-83 (IRICP, 1991).

Otro caso es el del noreste de Brasil ante las condiciones de sequía anunciadas para 1990. El gobierno local instruyó a los agricultores sobre la mejor época para la siembra del maíz y del arroz así como sobre las técnicas de conservación de agua. Los resultados fueron muy alentadores. En India, la relación entre el ENOS y los monzones es uno de los temas clave de investigación que condujo a ciertos avances en la predicción del monzón de verano. Estos avances en el monitoreo y pronóstico de las sequías (o inundaciones) en la India, al igual que los programas gubernamentales más eficientes y oportunos en respuesta a las anomalías climáticas, han reducido considerablemente los impactos sociales de las fluctuaciones de los monzones (Kiladis y Sinha, 1991).

Estos son sólo algunos ejemplos de los potenciales beneficios sociales y económicos de los pronósticos climáticos adecuados, que contribuyen a que las sociedades

---

sean menos vulnerables a los embates climáticos. Dichos pronósticos serían de gran importancia para los sistemas de alerta, destinados a organizar las medidas de prevención y protección en las zonas de riesgo (o sea, con alta probabilidad de que reciba los impactos de un fenómeno natural). Según Herzer (1990), un sistema de alerta debe estar constituido por tres elementos: la evaluación del fenómeno, la difusión de la alarma y las conductas de ajuste. Estas acciones están destinadas a desastres que, si bien no pueden evitarse, se pueden atenuar. Dado que la variabilidad climática y los fenómenos físicos a ella asociada son una realidad y hay que coexistir con ellos, la implementación de planes preventivos para mitigar los impactos es una cuestión fundamental.

Para los ríos Paraná, Uruguay y Paraguay existe en nuestro país un Servicio de Alerta Hidrológico está a cargo del Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCyTH), que integra a usuarios y proveedores de información de distintos organismos tales como Dirección Nacional de Defensa Civil, Prefectura Naval, Servicio de Hidrografía Naval, Servicio Meteorológico Nacional, Direcciones Provinciales de Defensa Civil, Direcciones Provinciales de Hidráulica, Dirección Nacional de Emergencias Sociales, etc. El Servicio de Alerta Hidrológico del INCyTH emite por telex mensajes diarios a los intervinientes en el Sistema con información sobre el estado de los ríos y pronósticos de eventos hidrológicos importantes y situaciones de riesgo. Como complemento, publica un boletín mensual con información hidrológica de la Cuenca del Plata (Alerta Hidrológico).

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi agradecimiento a las siguientes personas por su colaboración y apoyo: Prof. Claudia Natenzon (Departamento de Geografía, UBA); Lic. Julio Junod, Prof. Andrea del Pino y Prof. María Cristina Morandi (Servicio de Hidrografía Naval); Ing. Juan Borus y Lic. Graciela Molinari (INCyTH); Lic. Mirta Giacchino y Lic. Darío Rizzo (Servicio Meteorológico Nacional); Sr. Alberto Fattorini (Servicio Meteorológico de la Armada).