



Bulletin de l'Institut français d'études andines

ISSN: 0303-7495

secretariat@ifea.org.pe

Institut Français d'Études Andines

Organismo Internacional

Caviedes, César

Influencia de ENOS sobre las variaciones interanuales de ciertos ríos en América del Sur

Bulletin de l'Institut français d'études andines, vol. 27, núm. 3, 1998

Institut Français d'Études Andines

Lima, Organismo Internacional

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627326>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

## INFLUENCIA DE ENOS SOBRE LAS VARIACIONES INTERANUALES DE CIERTOS RÍOS EN AMÉRICA DEL SUR

César N. CAVIEDES \*

### Resumen

Las diferentes respuestas de los ríos sudamericanos a los estímulos de las fases de El Niño/Oscilación del Sur son estudiadas bajo tres condiciones: El Niño (EN), Anti-Niño (AN), y años normales. Ríos de la costa norte del Perú, Ecuador y el sur de Colombia experimentan altos caudales durante los veranos con EN y bajas descargas durante AN. Las descargas son normales en los otros años. Los ríos de los Andes peruanos y el Altiplano tienen bajos caudales durante EN y descargas normales en las otras dos condiciones. Los ríos de Chile central y los Andes de Argentina experimentan altos caudales durante EN y bajos durante AN. En Patagonia y el sur de Chile existe una independencia con respecto a las fases de ENOS ya que las descargas más altas tienen lugar durante años normales. Los ríos de la Pampa, las tierras bajas de la cuenca del Plata y el extremo sur de Brasil, tienen altas descargas durante EN y bajas durante AN. Los ríos de la costa central de Brasil demuestran independencia con respecto a las tres condiciones. En el noreste de Brasil las descargas son bajas durante EN y altas durante AN. La cuenca del Amazonas tiene diversas respuestas: en la sección central los ríos experimentan bajos caudales durante EN mientras que los tributarios de los Andes tienden a ofrecer altas descargas durante algunos EN. Los ríos de las Guayanas, de Venezuela y Colombia expuestos al Caribe experimentan bajos caudales durante EN y altos volúmenes durante AN. En los Andes del sur de Colombia y Ecuador existe una mezcla: algunos ríos tienen altos caudales durante EN extremadamente fuertes, otros durante las fases AN. Esta región sintetiza las distintas influencias que afectan la parte central de los Andes tropicales, sometida a influencias del Pacífico ecuatorial, de la cuenca amazónica, del Océano Atlántico y del Mar Caribe.

**Palabras claves:** *El Niño, América del Sur, Fases de ENOS, descargas, anomalías de descargas.*

## INFLUENCE DE L'ENSO SUR LES VARIATIONS INTERANNUELLES DE CERTAINS COURS D'EAU D'AMÉRIQUE DU SUD

### Résumé

On a étudié les réponses des cours d'eau sud-américains aux stimulations des phases de El Niño/Oscillation du Sud en les classant en trois catégories : El Niño (EN), Anti-Niño (AN) et années normales. Les cours d'eau de la côte Nord du Pérou, de l'Équateur et du Sud de la Colombie ont des débits élevés au cours des étés avec EN et des débits faibles avec AN. Les débits

\* University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA.

sont normaux les autres années. Les rivières des Andes péruviennes et de l'Altiplano ont des débits faibles en situation de l'EN et des débits normaux le reste du temps. Les cours d'eau du Chili central et des Andes de l'Argentine ont des débits élevés en situation EN et faible en situation AN. En Patagonie, et au sud du Chili, on observe une indépendance par rapport aux phases de l'ENSO, et l'on observe les débits les plus élevés au cours des années normales. Les rivières de la Pampa, les parties basses du bassin de la Plata et l'extrême sud du Brésil ont des débits élevés au cours de l'EN et faibles durant l'AN. Les cours d'eau de la côte centrale du Brésil semblent indépendants du phénomène. Dans le Nordeste du Brésil, les débits sont très faibles au cours des EN et élevés durant les AN. Le bassin de l'Amazone réagit de différentes façons : dans sa partie centrale, les fleuves ont des débits déficitaires au cours de certains EN, alors que les affluents des Andes fournissent des débits élevés, au cours de certains EN. Les cours d'eau des Guyanes, du Venezuela, et de la partie de la Colombie qui donne sur les Caraïbes ont des débits faibles au cours des EN et de forts volumes au cours des AN. Dans les Andes du Sud de la Colombie et de l'Équateur il y a un mélange : certains cours d'eau ont des débits élevés au cours des très forts EN, d'autres au cours des AN. Cette région est le point de rencontre des plusieurs influences qui affectent la partie centrale des Andes tropicales soumise à l'influence du Pacifique équatorial, du bassin amazonien, de l'Océan Atlantique et de la Mer des Caraïbes.

**Mots-clés :** *El Niño, Amérique du Sud, Phases de l'ENSO, débits, anomalies de débits.*

### THE ENSO INFLUENCE OVER INTERANNUAL VARIABILITY OF SOME RIVERS IN SOUTH AMERICA

#### Abstract

The response of South American rivers to ENSO stimuli is studied under three conditions: El Niño (EN), Anti-Niño (AN), and normal years. A regionalization is thus obtained. Rivers in coastal Peru, Ecuador and extreme south of coastal Colombia have high discharges during summers with El Niño. Low run-off is experienced in Anti-Niños. Rivers in the Sierra of Peru and the Altiplano react with low discharges to EN, while discharges are normal under the two other conditions. Rivers of Central Chile and Andean Argentina have high run-off during EN and low run-off during AN. Rivers in Patagonia and southern Chile show an independence from the phases of ENSO since their high discharges occur in normal years. Rivers of the Pampa, the Rio de la Plata lowlands, and the southern tip of Brazil have high discharges during EN and low run-off during AN. Rivers of central Brazil display independence from the three conditions. Rivers of north-east Brazil have extremely low run-off during EN and experience high waters during AN. The rivers of the vast Amazon basin have differentiated responses. Rivers in the central part of the basin display low discharges during most EN and high waters during AN. However, rivers that originate in the eastern slopes of the Andes tend to rise during special EN events. Rivers of the Guianas, coastal Venezuela, and the Caribbean tier of Colombia experience low run-off during EN and high discharges during AN. In the Andes of Ecuador and southern Colombia a mixture exists: some of them peak during extreme EN, others during AN. This region seems to be the best example of the mixed stimuli which concern the central Andes, opening on to the equatorial Pacific, the Amazon basin, and the areas of South America opening on to Atlantic and Caribbean influences.

**Key words:** *El Niño, South America, ENSO phases, discharges, discharge anomaly.*

### INTRODUCCIÓN

Las respuestas de las precipitaciones a los estímulos provocados por las diversas fases de ENOS, planteadas en otros artículos de este volumen, llevan necesariamente a una consideración de las reacciones de los regímenes hidrológicos en distintas regiones del continente.

Para hacer tal comparación se debe considerar no sólo las precipitaciones caídas dentro de una cuenca hidrográfica, sino también el rol moderador de lagos naturales y represas, el tamaño de la cuenca, las características geológicas del sustrato y la influencia retentiva de la cubierta vegetal. También es de importancia el monto de las precipitaciones almacenadas como nieve o hielos porque ellas contribuyen a las crecidas de ríos extra-tropicales durante la primavera o el verano temprano. Además, para establecer una relación correcta entre las descargas con la ocurrencia de un fenómeno de El Niño (o Anti-Niño) en el Pacífico tropical oriental es necesario tener en claro *cuando* se inicia el año hidrológico. Las estaciones hidro-meteorológicas de regiones templadas de costa oeste tienen sus máximos de precipitaciones y descargas durante los meses invernales que se hallan en el centro del año calendario por lo cual el comienzo del año hidrológico en enero tiene sentido. Para los ríos ubicados al norte de la línea ecuatorial, los años hidrológicos partiendo en enero también son convenientes, porque a mitad de año se registran las más altas descargas. Sin embargo, como las fases extremas de ENOS (Niños o Anti-Niños) alcanzan su madurez en el verano austral –ubicado a fines de un año calendario y el comienzo de otro– es necesario calibrar los años hidrológicos a estos episodios estivales. En el caso de ríos de regiones bajas de América del Sur, es más conveniente comenzar el año hidrológico en el mes de septiembre, para situar los caudales más altos del verano austral y el derretimiento de nieves y glaciares durante el período más cálido en el centro del año hidrológico. Así se registran bien las influencias de un episodio El Niño sobre las lluvias y las descargas. Por esta razón se notará en este trabajo que no en todos los ríos analizados el año hidrológico comienza en enero.

Por la propia naturaleza geográfica, dentro de una región establecida existe una enorme variabilidad espacial entre un caso y otro –particularmente cuando las cuencas hidrográficas son pequeñas–. Obviamente que estas “singularidades” tienen cabida dentro de una región y pueden ser explicadas en sus mecanismos muy especiales, lo cual ya de por sí merece especial atención.

## 1. METODOLOGÍA

Las variaciones de caudales mensuales se estudian aquí bajo tres condiciones climático-océánicas: El Niño, Anti Niño y normal (véase en este volumen la clasificación de los regímenes de pluviosidad por Caviedes & Waylen, 1991). Para constatar si hay variaciones entre estas poblaciones, se calcularon el promedio mensual y varianza (véase la Tabla 1). El test “t” se aplicó para probar si los promedios de cada mes son estadísticamente diferentes (nivel de confiabilidad de 95%) en las combinaciones de El Niño y Anti- Niño, El Niño y Normal, Anti-Niño y Normal. En la comparación de las varianzas se usó el test “F” para establecer la similaridad de las varianzas entre dos poblaciones independientes (McClave & Benson, 1988). Los resultados de ambos tests aparecen en la Tabla 2 en la cual se indica con un asterisco (\*) cual población de los pares es diferente o mayor que la otra. Usando el río Cañar en Ecuador como ejemplo, se ve que en el par Niño versus Anti-Niño los primeros se caracterizan por altos promedios y mayor variabilidad de caudales (altas varianzas) que durante Anti-Niños. En el par Niño versus Normal, los primeros tienen promedios y varianzas más altos que los segundos. Comparando años normales y Anti-Niño se ve que las dos poblaciones no son

Tabla 1

RÍO	EL NIÑO vs ANTI		NIÑO vs NORMAL		NORMAL vs ANTI	
	Promedio	Varianza	Promedio	Varianza	Promedio	Varianza
Cañar	* E	* E	* E	* E	* A	
Mojotoro	* A		* N			
Aconcagua	* E	* E				
Cautín				* F		
Santa Cruz						
Chubut						
Cuiaba	* E					* N
Tercero	* E	* E				
Itajai	* E					
Peixe	* E	* E				
Jequitinhonha						
Quixeramobim	* A	* A	* N		* A	
Negro						
Fundacion						
Magdalena	* A					
Cauca	* A	* A	* N			
San Juan						
Pastaza						
Arenal		* E		* E		* N
Mira						

estadísticamente diferentes, en términos de promedios y varianzas. La visualización de estas diferencias se presenta en los diagramas de los ríos estudiados en los cuales se ha graficado el caudal medio mensual de años con El Niño, Anti-Niño, y Normales.

## 2. REGIONALIZACIÓN DE LOS RÍOS

Para los efectos de una sistematización regional (1) los ríos analizados en este trabajo han sido seleccionados como típicos de las regiones que aparecen en la Fig. 1.

### 2.1. Región 1

Ríos que muestran una respuesta inmediata a los impulsos de El Niño durante el comienzo del verano austral, como los ríos de las regiones costeras de Ecuador y del centro-norte de Perú. En años El Niño extraordinarios, incluye también ríos de la costa

(1) Una primera regionalización de los ríos de América del Sur a las fases de la Oscilación Meridional fue propuesta por este autor en el Encuentro Internacional de NOAA y el Instituto de Pesquisas Espaciais (Brasil) acerca de Predicciones Climáticas Globales celebrado en Fortaleza, Ceará, del 12 al 16 de septiembre, 1992.

Tabla 2

RÍO	EL NIÑO (E)		ANTI-NIÑO (A)		NORMAL (N)	
	Promedio	Varianza	Promedio	Varianza	Promedio	Varianza
Cañar	79.2	3059	54.1	1417	41.0	1220
Mojotoro	12.5	179	16.1	284	14.9	240
Aconcagua	65.6	2002	36.1	545	49.3	1147
Cautin	147.6	13174	185.5	6894	192.5	10325
Santa Cruz	614.9	865	705.4	120165	632.4	96636
Chubut	47.0	1083	46.8	728	47.5	840
Cuiaba	334.6	55622	250.9	28643	321.5	46812
Tercero	31.9	431	20.6	139	28.2	346
Itajai	253.7	4693	190.9	1044	201.8	2393
Peixe	142.7	4224	84.8	679	105.2	1193
Jequitinhonha	359.1	54061	345.1	58936	340.0	51517
Quixeramobim	11.9	442	26.2	1521	9.6	226
Negro	235600	87765	232700	119583	232000	100642
Fundacion	23.1	102	25.5	117	27.9	148
Magdalena	5890.0	1930287	7969.0	4416052	7092.0	3988989
Cauca	232.3	5462	312.6	11724	294.4	10688
San Juan	1910.1	167440	2170.1	223310	2222.3	128791
Pastaza	140.1	2386	125.5	2097	131.6	1605
Arenal	20.6	92	23.5	28	19.2	44
Mira	140.9	2108	156.7	1140	133.5	907

sur colombiana del Pacífico. Crecidas severas e inundaciones desastrosas caracterizan estos años. Por el contrario, las descargas más bajas se registran durante los años Anti-Niño que corresponden a condiciones de aguas frías en el Pacífico suroriental, gran fortalecimiento del anticiclón del Pacífico sur, y sequía generalizada en toda la costa oeste de América del Sur bajo la influencia de la corriente de Humboldt. Las descargas de los años referidos como “normales” no demuestran las características extremas de las otras dos poblaciones, y parecen corresponder a una mezcla de ambas: en algunas ocasiones los valores más altos de años normales se asemejan a aquellos de años con El Niño. Véase el río Cañar (Fig. 2). La variabilidad de los ríos peruanos bajo la influencia de El Niño ha sido estudiada por Waylen & Caviedes (1986; 1987), Goldberg & Tiznado (1987) y Marengo (1995).

## 2. 2. Región 2

Ríos con bajas descargas durante los veranos de años El Niño se presentan en la Sierra peruana, gran parte del oeste de Bolivia, interior del norte de Chile, y noroeste árido de Argentina. Estas bajas corresponden con las sequías observadas en el interior de Perú y en el Altiplano peruano-boliviano durante El Niño (Tapley & Waylen, 1989). Los caudales más altos tienen lugar durante los años Anti-Niño revelando un régimen de precipitaciones opuesto a aquel de las regiones dominadas positivamente por El Niño. Las

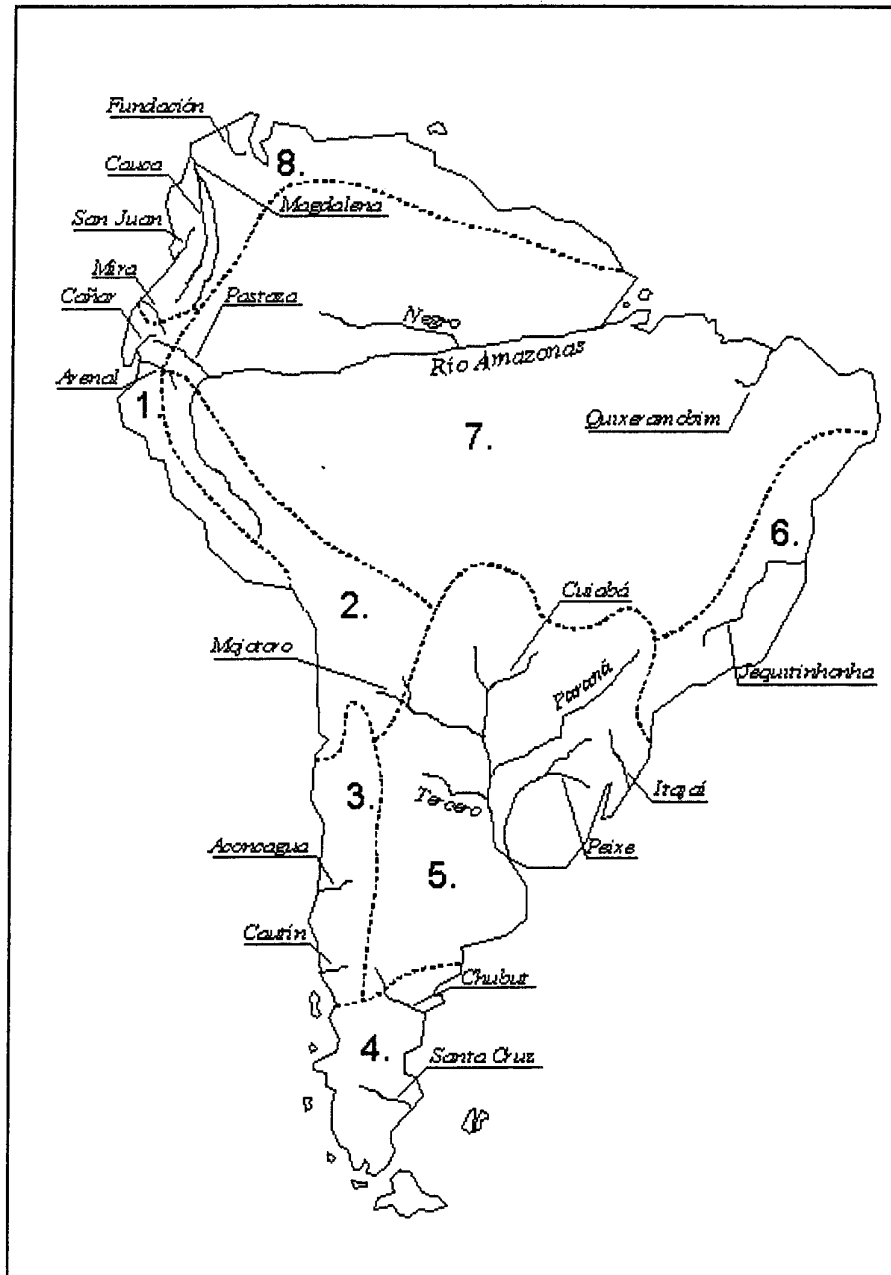
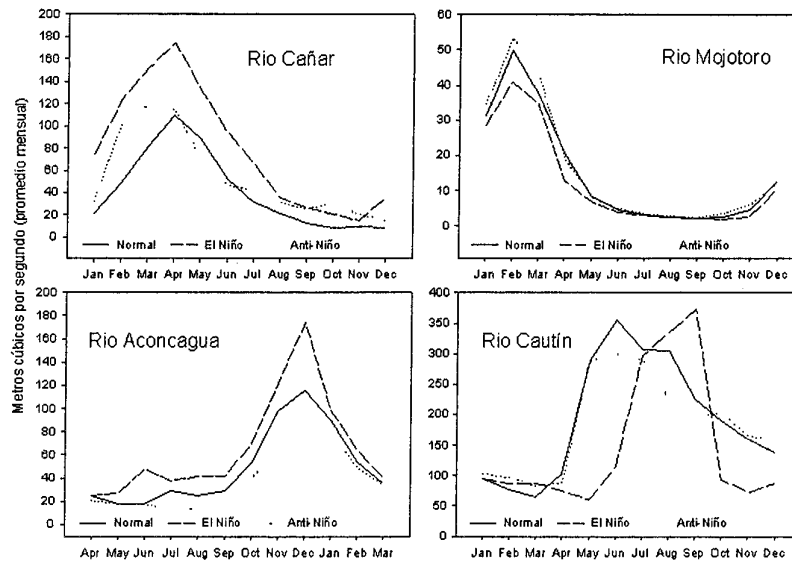


Fig. 1 - Regiones hidrográficas de América del Sur, de acuerdo a sus respuestas a ENOS. Los ríos típicos de cada región aparecen indicados.



**Fig. 2 - Río Cañar en los Andes centrales de Ecuador.**

**Fig. 3 - Río Mojotoro, en el noroeste de Argentina.**

**Fig. 4 - Río Aconcagua en Chile central.**

**Fig. 5 - Río Cautín en el sur de Chile.**

descargas de los años normales se hallan localizadas entre las dos poblaciones Anti-Niño y El Niño, revelando una cierta independencia respecto a las fases extremas de la Oscilación Meridional. Caso del río Mojotoro, cuenca superior del río Bermejo (Fig. 3).

### 2. 3. Región 3

Ríos con respuestas durante los inviernos australes anteriores o posteriores a un episodio El Niño, y con un aumento adicional durante la primavera que sigue a dichos inviernos. Comprende a los ríos de Chile central –entre latitudes 27 y 38°S– y a ríos de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, en Argentina, ubicados entre las latitudes 30 y 40°S. En esta región, los altos caudales son determinados por abundantes lluvias invernales provocadas por una activa frontogénesis en el Pacífico suroriental durante los años El Niño (Aceituno & Vidal, 1990) las cuales causan fuertes inundaciones en Chile central y una segunda alta en la primavera correspondiente al derretimiento de las nieves almacenadas en el invierno. El río Aconcagua, en el centro de Chile, es el mejor ejemplo de este tipo (Fig. 4), mientras que el río Cautín, a la latitud 39°S, demuestra una cierta variabilidad con respecto al anterior en cuanto ofrece altos caudales al final del invierno y en la primavera de años con El Niño, pero altas descargas a comienzos del invierno de los años normales (Fig. 5). Además, las descargas de años “normales” no son estadísticamente muy diferentes de aquellas de años Anti-Niño. En Chile central, por el contrario, los años Anti-Niño demuestran los caudales más bajos de las tres poblaciones coincidiendo con escasas precipitaciones.



## 2. 4. Región 4

Los ríos del extremo sur del continente, región de Patagonia argentina o vertiente occidental de los Andes australes, revelan independencia o baja sensibilidad a las variaciones de la Oscilación Meridional. Las descargas de las tres poblaciones son estadísticamente poco diferenciables y así también son sus curvas mensuales, como se aprecia en el río Santa Cruz (Fig. 6). Aún cuando las descargas de años Anti-Niño son mayores, ellas no son estadísticamente diferentes de las otras dos poblaciones, sobre todo en medio del otoño austral. Comparando el río Santa Cruz con otro río "patagónico", como el Chubut, se advierten marcadas diferencias. El Chubut (Fig. 7) experimenta los caudales más bajos durante el otoño y los más altos a fines del invierno o principio de primavera, ya que se alimenta de fuertes nevazones invernales y las nieves acumuladas en el invierno se derriten tan pronto como llega la primavera. Las nacientes del Chubut ubicadas en los Andes del sur de Argentina explican esta conducta diferente al Santa Cruz. Las más altas descargas ocurren sea en el invierno tardío que sigue a un episodio El Niño en el Pacífico suroriental (Compagnucci *et al.*, 1996), o durante la primavera de un Anti-Niño, hecho que demuestra que estas dos situaciones extremas de la Oscilación Meridional tienden a estimular la circulación hidrológica en la región más austral de América del Sur (Minetti & Sierra, 1989). Con toda probabilidad, las variaciones de caudales, antes de ser explicadas directamente por las fases de ENOS, son más bien determinadas por variabilidades en la intensidad de las corrientes del oeste (*westerlies*), que son las que rigen el sistema hidro-meteorológico del extremo sur. Hasta qué punto esta circulación zonal es influida por episodios ENOS, es una cuestión que vale la pena investigar más minuciosamente.

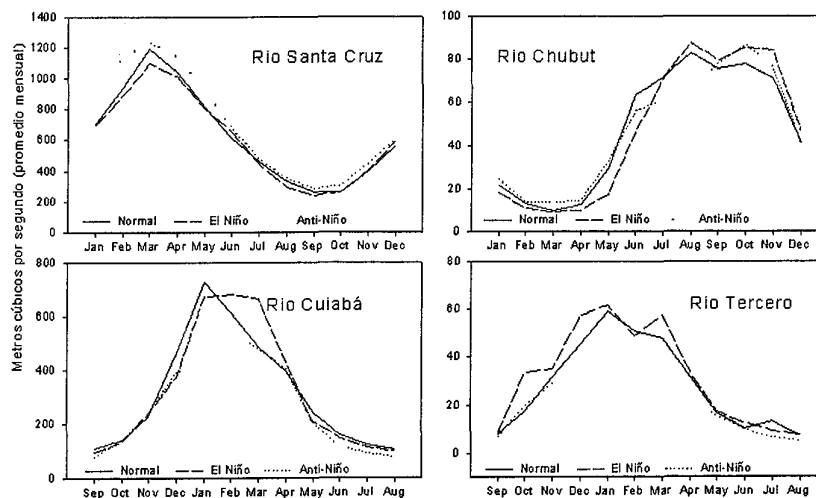


Fig. 6 - Río Santa Cruz en el sur de la Patagonia argentina.

Fig. 7 - Río Chubut en la Patagonia central argentina.

Fig. 8 - Río Cuiabá al norte de su confluencia con el Río Paraguay.

Fig. 9 - Río Tercero en la pampa argentina, al sur de Córdoba.

## 2. 5. Región 5

Los ríos de la cuenca del Río de la Plata y la región de la Pampa responden positivamente a los estímulos de El Niño, pero presentan también ciertas variedades temporales y espaciales. Se registran precipitaciones anormales durante los veranos con El Niño en el Pacífico suroriental (Mechoso & Perez-Iribarren, 1992), de manera que hay aumentos considerables en los caudales de estos ríos durante esos años, particularmente en el Paraná (Corrientes), después que ha recibido los efluvios del Paraguay y el Alto Paraná (Valdéz & Ereño, 1984).

La cuenca superior del río Paraguay es la subregión donde se manifiestan más tempranamente estos efectos, como se ve en el río Cuiabá (Fig. 8). Aun cuando el caudal máximo tiene lugar en enero de años normales, se observa que durante años de El Niño el aumento de los caudales comienza en enero y se prolonga hasta el mes de abril, coincidiendo con el desarrollo de El Niño oceánico y meteorológico en las costas del norte del Perú y Ecuador. Sin embargo, las descargas de los años “normales” son similarmente altas durante Anti-Niños, sobre todo en los meses que preceden la culminación de un episodio El Niño, como se aprecia en el río Cuiabá durante enero. Esto sugiere que los mecanismos de circulación atmosférica y de alimentación de los tributarios en la alta cuenca del Cuiabá son muy similares en años “normales” y años El Niño, pero que tienden a sobre-estimularse durante los últimos. En cambio, las descargas de años Anti-Niño son las más bajas de las tres poblaciones y así lo es también su varianza, como sucede en la costa occidental del continente.

Los ríos de la subregión de la Pampa argentina, representados por el Río Tercero (Fig. 9), también demuestran una sobre-estimulación temprana a los impulsos de El Niño y tienden a experimentar una primera alta que corresponde al calentamiento continental observado en el río Cuiabá. Además, los ríos de la región pampeana suelen presentar un segundo pico hacia inicios del otoño austral (marzo), que coincide con las crecidas registradas a lo largo del Río Paraná y en la mayoría de los ríos del sur de Brasil, hacia el final de un episodio El Niño. Los años “normales” tienen los caudales de segunda magnitud, lo que corresponde, con la interpretación dada para las crecidas de los tributarios en la cuenca superior del Paraguay. Los años con Anti-Niños son los más bajos de las tres poblaciones, revelando las condiciones de sequedad que parecen predominar en la región pampeana durante años de aguas frías en el Pacífico suroriental, y con sequías a lo largo de la costa oeste del continente.

En la subregión del sur de Brasil, en años El Niño, tienen lugar las descargas más altas de las tres poblaciones, y en Anti-Niños las más bajas. Es interesante observar que en estos ríos la respuesta a los estímulos de El Niño está retrasada entre seis a ocho meses ya que los caudales máximos se registran en los meses del tardío invierno austral, como lo revelan los gráficos del río Itajaí y Rio do Peixe (Fig. 10 y 11). En ambos casos, existe una primera respuesta a la aparición de El Niño en el Pacífico suroriental, manifestada en una primera alta hacia febrero y marzo; pero hacia el centro del invierno austral parece ser que la humedad estimulada por el evento resulta en grandes crecidas que afectan a los ríos del sur de Brasil (Molion & Moraes, 1987), y han hecho al río Itajaí causante de las inundaciones de Blumenau, Santa Catarina.

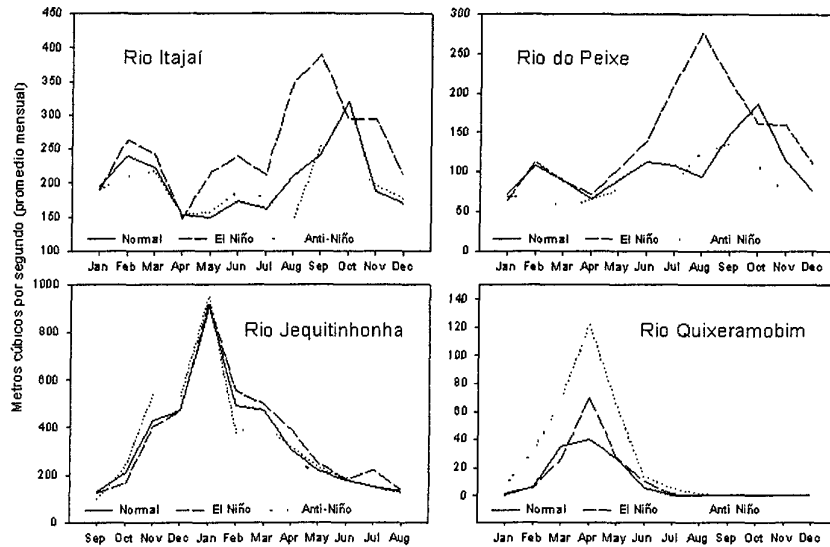


Fig. 10 - Río Itajaí en la región costera del estado de Santa Catarina, sur de Brasil.

Fig. 11 - Río do Peixe, un tributario del Uruguay en el sur de Brasil.

Fig. 12 - Río Jequitinhonha en las sierras centrales de Brasil.

Fig. 13 - Río Quixeramobim en el noreste de Brasil.

## 2. 6. Región 6

Los ríos de la costa central de Brasil no responden a los impulsos de ENOS. En la costa de Brasil central comprendida entre las latitudes 8 y 24°S las respuestas de los ríos parecen ser independiente de los impulsos generados en el Pacífico tropical. El río Jequitinhonha (Fig. 12) revela aguas altas en enero de cualquiera de las tres subpoblaciones. El aumento de las descargas en los meses del otoño austral en años Anti-Niño, o el cierto aumento de los caudales después de la culminación de episodios El Niño, no es estadísticamente significativo como para argumentar que se trata de influencias del Pacífico suroriental. El régimen hidrológico del Brasil costero está controlado por factores en los cuales no intervienen las teleconexiones con el Océano Pacífico y ENOS.

## 2. 7. Región 7

Tomando en consideración la gran dimensión de esta cuenca, su localización en pleno centro del continente, y el hecho de que hay tributarios que proceden de los Andes, del macizo Brasileño, y de las tierras altas de las Guayanas, existe una gran variedad con respecto a las respuestas a ENOS. Hacia el noreste de Brasil, los ríos reflejan la ausencia de precipitaciones de veranos durante los años El Niño, que resultan en *secas* en aquella región. El río Quixeramobim (Fig. 13), en el estado de Ceará, tiene las más altas descargas durante años Anti-Niño, cuando hay alta advección de humedad desde el Atlántico tropical debido a una posición extremadamente sur de la Convergencia Inter-Tropical (Caviedes, 1973) y bajas durante años El Niño.

En el centro de la cuenca, el Amazonas o sus tributarios mayores, ofrecen caudales más bajos en los meses que siguen a la culminación de un episodio El Niño. Sin embargo, como los grandes tributarios del Amazonas reciben aguas de las vertientes orientales de los Andes del norte del Perú y del centro de Ecuador, se nota también un cierto aumento de los caudales después de algunos episodios El Niño, caso de Río Negro en Manaos (Fig. 14). En el segmento norte de la cuenca del Amazonas, los ríos reflejan en bajos caudales las precipitaciones disminuidas durante años El Niño, y exhiben grandes descargas durante Anti-Niños (Richey, Nobre & Deser, 1989). En el segmento sur de la cuenca y hacia el límite del macizo brasileño los ríos tienen aumentos y bajas que sólo a veces están en consonancia con las fases de ENOS (Marengo, 1995).

## 2. 8. Región 8

Los ríos de la región norte andina, del Caribe, y de las Guayanas exhiben bajos caudales durante los años El Niño, en correspondencia con las bajas precipitaciones de estas regiones durante las fases bajas de ENOS. Las más altas descargas se observan durante años Anti-Niño y “normales”, que más parecen ser una mezcla de ambas poblaciones. En los ríos de las Guayanas, Hastenrath (1990a) ha encontrado que hay caudales más altos hacia el otoño de años Anti-Niño. Los ríos de la costa venezolana ofrecen sus más altas descargas durante la culminación de los veranos de años Anti-Niño y sus más bajos caudales en años El Niño, como reflejo de bajas precipitaciones (Pulwarty *et al.*, 1992). En los llanos del Orinoco, hay crecidas durante la fase de extinción de El Niño en el Pacífico, lo que implica una succión de humedad desde el Mar Caribe en las postrimerías de El Niño y una transición hacia flujos desde el Atlántico norte-tropical (Hastenrath, 1990b).

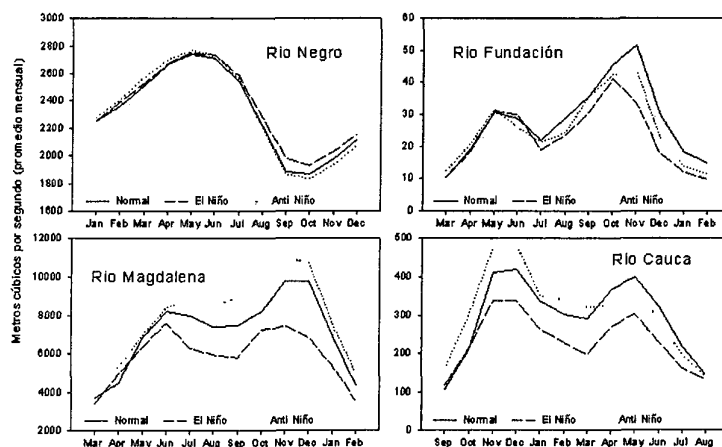


Fig. 14 - Río Negro en Manaos, en el centro de la cuenca amazónica.

Fig. 15 - Río Fundación, al pie de la Sierra de Santa Marta, litoral Caribe de Colombia.

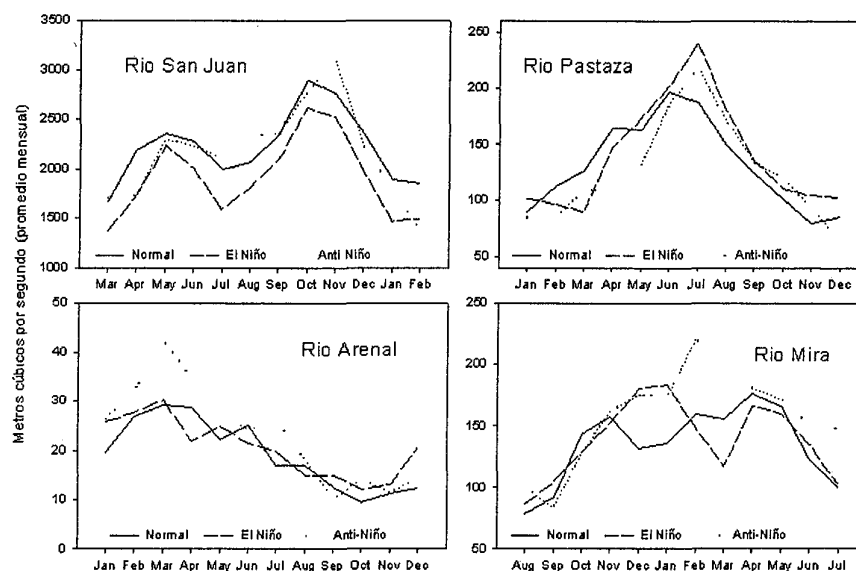
Fig. 16 - Río Magdalena en Calamar, llanura atlántica de Colombia.

Fig. 17 - Río Cauca en Juanchito, Andes de Colombia.

Dada la mayor variedad del relieve y su localización con respecto a los sistemas de circulación del Caribe, de la cuenca del Amazonas, o del Pacífico tropical, los ríos de Colombia, demuestran respuestas a ENOS que no pueden ser reducidas a un factor común (Quesada & Caviedes, 1992). Algunos ríos de la vertiente Caribe, como el Fundación (Fig. 15), muestran independencia de las fases de ENOS, ya que los caudales del otoño de años “normales” aparecen como los más altos, mientras que los caudales de otoños de años Anti-Niño y El Niño son sensiblemente menores. La primer alta de descargas situada a principios de la primavera septentrional (mayo), revela que ninguna de las tres subpoblaciones son diferentes entre ellas, lo que sugiere independencia con respecto a los procesos generadores de aguas altas. Los niveles del río Magdalena en Calamar (Fig. 16) revelan que los años Anti-Niño tienen los caudales más altos, particularmente en otoño. Las descargas de años El Niño son las más bajas, en concordancia con las bajas lluvias de todo norte sudamericano. En años “normales”, las descargas son más cercanas a las primeras que a las segundas. En el río Cauca, en Juanchito (Fig. 17), los caudales son similares, aún cuando Riehl (1984) ha sugerido que durante algunos El Niño las influencias del Pacífico provocan altos caudales en el curso superior del río Cauca. Sobre la costa del Pacífico colombiano se advierte una ligera influencia del Pacífico tropical sobrecalentado y húmedo en años El Niño. En el río San Juan (Fig. 18), el primer pico anual durante años El Niño tiene caudales no significativamente menores que las otras poblaciones. Sin embargo, en el segundo pico –que es más voluminoso y muestra claramente las influencias del Caribe hacia el otoño boreal– las descargas de años Anti-Niño son definitivamente mayores que en años normales y años El Niño, en correspondencia con las tendencias de circulación y mecanismos descritos por Poveda & Mesa (1997).

### 3. LAS RESPUESTAS DE LOS RÍOS DE ECUADOR

Ecuador se encuentra en una ubicación crucial con respecto a los controles climáticos que influyen sobre la región tropical del continente y frente al Pacífico ecuatorial oriental durante los episodios El Niño; por eso hay gran variedad a los estímulos de ENOS (Rossel, 1997). Los ríos costeros reflejan las respuestas de los ríos de la Región 1, altos caudales y crecidas catastróficas durante los años El Niño, y caudales bajos durante Anti-Niños. Hacia el interior hay variaciones interesantes que revelan complejidad en los mecanismos originadores de descargas. Ríos como el Cañar (Fig. 2) demuestran que en veranos El Niño de años pasados los caudales son altos con respecto a aquellos de años Anti-Niño, pero no hacia fines del año cuando los mecanismos generadores no parecen ser muy diferentes de las condiciones operantes en Ecuador durante episodios cálidos de ENOS. En el curso superior del río Pastaza (en los Andes orientales ecuatorianos), se revelan ciertos trazos de una influencia “amazónica”, particularmente cuando las descargas de los meses junio, julio y agosto de años Anti-Niño no son muy inferiores a aquellas registradas en los mismo meses de años El Niño (Fig. 19). El río Arenal, situado en los Andes de Loja, sur de Ecuador, revela las mayores descargas durante años Anti-Niño, mientras que en años El Niño y normales son más bajas (Fig. 20). Esto asemeja al Arenal con el curso superior de los ríos Sullana y Piura, en los cuales Waylen & Caviedes (1987) descubrieron que las altas precipitaciones y



**Fig. 18 - Río San Juan en la costa del Pacífico colombiano.**

**Fig. 19 - Río Pastaza en la Cordillera Oriental de Ecuador.**

**Fig. 20 - Río Arenal en los Andes del sur de Ecuador.**

**Fig. 21 - Río Mira en los Andes del norte de Ecuador.**

descargas durante El Niño se invertían a alturas superiores a los 1000 metros, asemejándose más a las descargas típicas de los ríos de la sierra que no a aquellos de la costa norte.

El caso del río Mira (Fig. 21) sugiere que ríos de cuencas pequeñas en el norte del Ecuador responden diferentemente a las influencias de las fases cálidas de ENOS. Aquí los caudales más altos a comienzos de año se registran durante Anti-Niños, en similitud con los ríos andinos de Colombia. Después de la “pausa de precipitaciones” que singulariza el equinoccio de septiembre en toda Sudamérica (Caviedes, 1981), el río Mira presenta una alta en los caudales del otoño siguiente a episodios El Niño, lo que sugiere que al final de estos eventos la hidrología en el norte del continente experimenta un cambio en las condiciones de circulación revelado por un aumento de las precipitaciones y de las descargas al norte de la línea ecuatorial, en donde las influencias del Caribe y del segmento norte de la cuenca del Amazonas son más dominantes.

#### 4. CONCLUSIÓN

La regionalización de las respuestas de los ríos sudamericanos a las fases cálida o frías de ENOS, como se las registra en las regiones “El Niño 1” y “El Niño 2” del Pacífico tropical oriental, es muy factible y puede ser un primer paso para la investigación de los mecanismos que explican variaciones de respuestas bajo los tres estados de ENOS: El Niño, Anti-Niño, y “normal”. Hay, sin embargo, regiones en las cuales las

respuestas no son claras, como en el oriente del Perú o en la margen sur de la cuenca del Amazonas donde la respuestas positivas de los ríos que descienden hacia la cuenca del Río de la Plata divergen de aquellos que tributan hacia el Río Amazonas. La separación del régimen "patagónico" con respecto al de la Pampa no está muy claro, puesto que no se sabe en qué parte de la Argentina las influencias de la circulación regida por los *westerlies* es suplantada por las influencias continentales y del Pacífico oriental. También es incierto el límite que separa las respuestas de ríos en los llanos de Colombia y Venezuela con los de la región amazónica, o a la región Norte Andina y Guayana.

### Referencias citadas

- ACEITUNO, P. & VIDAL, F., 1990 - Variabilidad interanual en el caudal de ríos andinos en Chile Central en relación con la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Central. *Revista de la Sociedad Ingeniería Hidráulica*, **5**: 7-19
- CAVIEDES, C. N., 1973 - Sêcas and El Niño: Two simultaneous climatical hazards in South America. *Proceedings of the Association of American Geographers*, **5**: 44-49.
- CAVIEDES, C. N., 1981 - Rainfall in South America. Seasonal trends and spatial correlations. *Erdkunde*, **35**(2): 107-118.
- CAVIEDES, C. N. & WAYLEN, P.R., 1991 - Chapters for a climatic history of South America. in: *Beiträge zur Regionalen und Angewandte Klimatologie*. Freiburger Geographische Hefte (W. Endlicher and H. Gossmann, eds), **32**: 149-180; Institut für Geographie, Universität Freiburg.
- COMPAGNUCCI, R., BLANCO, S., COSTA, A., JACOVKIS, P. & ROSSO, O., 1996 - Analysis of Argentinean Andean rivers streamflows by nonlinear dynamic metric tools. 13th Conference on Probability in the Atmosph. Sciences. San Francisco, CA., Abstracts, pp.21-23.
- GOLDBERG, R. A. & TIZNADO, G., 1987 - Characteristics of extreme rainfall events in northwestern Peru during the 1982-1983 El Niño period. *Journal of Geophysical Research*, **92**(C 13): 14225-14241.
- HASTENRATH, S., 1990a - Predictability of anomalous river discharge in Guyana. *Nature*, **345**: 53-54.
- HASTENRATH, S., 1990b - Diagnostics and prediction of anomalous river discharge in northern South America. *Journal of Climate*, **3**(10): 1080-1096.
- MARENGO, J. A., 1995 - Variations and change in South American streamflow. *Climatic Change*, **31**: 99-117.
- MCCLAVE, J.T. & BENSON, P.G., 1988 - *Statistics for Business and Economics*, p., Dellen/ Collier MacMillan Publishers.
- MECHOSO, C. & PEREZ-IRRIBARREN, R., 1992 - Streamflow in south-eastern South America and the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, **5**: 1535-1539.
- MINETTI, J. L. & SIERRA, E. M., 1989 - The influence of general circulation patterns on humid and dry years in the Cuyo Andean region of Argentina. *Int. Journal of Climatology*, **9**: 55-68.
- MOLION, L. & MORAES, J., 1987 - Oscilação do Sul e descarga de rios na America do Sul tropical. *Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Hidrologia*, **5**: 53-63.
- POVEDA, G. & MESA, O. J., 1997 - Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. *Journal of Climate*, **10**: 2690-2702.
- PULWARTY, R. S., BARRY, R. G. & RIEHL, H., 1992 - Annual and seasonal patterns of rainfall variability over Venezuela. *Erdkunde*, **46**: 273-289.

- QUESADA M. E. & CAVIEDES, C. N., 1992 - Características estadísticas de algunos ríos de Colombia. *Revista Geográfica I.P.G.H.*, **116**: 53-66.
- RICHEY, J. E., NOBRE, C. & DESER, C., 1989 - Amazon river discharge and climate variability: 1903 to 1985. *Science*, **246**: 101-103.
- RIEHL, H., 1984 - El Niño north of the Equator in South America. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, **4**: 2-3.
- ROSSEL, F., 1997 - Influence du Niño sur les régimes pluviométriques de l'Equateur. Thèse de Doctorat. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 289p.
- TAPLEY, T. & WAYLEN, P. R., 1989 - A mixture model of annual precipitation in Peru. *The Professional Geographer*, **41**: 62-71.
- VALDÉZ, A. J. & EREÑO, C.E., 1984 - El fenómeno denominado El Niño y las inundaciones del Paraná. *Boletín Informativo TECHYNT*, **235**: 29-76.
- WAYLEN, P.R. & CAVIEDES, C. N., 1987 - El Niño and annual floods in coastal Peru. in: *Catastrophic Flooding* (L. Mayer and D. Nash, eds.), : 57-78; Boston: Allen & Unwin, Inc.