



---

## Impacto de ENOS en la Hidrología del Perú (1968-2006).

## Impact of the ENSO on the Hydrology of Peru (1968-2006).

WALDO SVEN LAVADO CASIMIRO<sup>1</sup>, ELIZABETH SILVESTRE<sup>1</sup> & OSCAR FELIPE OBANDO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI, Casilla 11 1308, Lima 11, Perú.  
[wlavado@senamhi.gob.pe](mailto:wlavado@senamhi.gob.pe)

---

### Resumen

Los impactos de los años El Niña y La Niña en la hidrología del Perú son evaluados sobre los datos de caudales (1968-2006) de 20 ríos distribuidos sobre las tres vertientes del Perú: 14 en la del Pacífico (VP), 3 en la del Lago Titicaca (VT) y 3 en la del Amazonas (VA).

Para clasificar a los eventos El Niño y La Niña utilizamos el Índice Trop de Oscilación del Sur (IOS) sobre la base de años hidrológicos (septiembre a agosto). Utilizando los valores del IOS se reclasificaron en El Niño fuerte (ENF); El Niño moderado (ENM); años Normales (N); La Niña moderada (LNM) y La Niña fuerte (LNF).

En promedio durante los años ENF se observan fuertes aumentos de caudales en la zona centro-norte de la VP y descensos en las demás estaciones de caudales analizadas, mientras que en los años ENM estos cambios presentan diferentes respuestas que el ENF. Durante los años clasificados como La Niña se observa mayormente cambios positivos en la mayoría de estaciones analizadas excepto en los ríos localizados en el centro de la VP. Un resultado importante de este trabajo es que el río Ilave (sur de la VT) exhibe mayores impactos positivos (negativos) en los años La Niña (El Niño) hecho que no se da claramente en los ríos de la zona norte de la VT (Ramis y Huancané).

**Palabras claves:** El Niño Oscilación del Sur (ENOS); Variabilidad Hidrológica; Caudales; Perú.

### Abstract

Impacts of El Niño and La Niña events on the hydrology of Peru are assessed on the basis of discharge data (1968-2006) of 20 rivers distributed over three watersheds in Peru: 14 in the Pacific Watershed (PW), 3 in the Titicaca Lake Watershed (TW) and 3 in the Amazon Watershed (AW).

El Niño and La Niña events were classified using the Southern Oscillation Index (SOI) of the corresponding hydrological year (September to August). According to the SOI values the events were classified in: Strong El Niño (SEN), Moderate El Niño (MEN), normal years (N), moderate La Niña (MLN) and Strong La Niña (SLN).

On average, sharp increases of the discharges in the north-central area of the PW and decreases of the discharge in the remaining analyzed stations were observed during the SEN years, while during MEN events the discharges show different behavior. During the years classified as La Niña positive tendencies are normally observed in the majority of the analyzed stations, except those located in the center of the Pacific watershed. An important result of this study is that the Ilave River (southern part of Titicaca watershed) shows higher positive (negative) impacts during La Niña (El Niño) years, which is a feature that is not clearly evident in the rivers of the northern part of Titicaca Watershed (Ramis and Huancané).

**Key words:** El Niño Southern Oscillation (ENSO); Hydrological Variability; Discharge; Peru.

## INTRODUCCION

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es el primer modo de variabilidad climática al paso de tiempo interanual, principalmente en los trópicos (Ropelewski & Halpert, 1987). El ENOS consiste en un calentamiento de las aguas del Pacífico y que tiene una gran influencia en el comportamiento del clima en diversos lugares del mundo.

En condiciones normales, una masa superficial de agua cálida se extiende en el extremo oeste del océano Pacífico tropical mientras que cerca de las costas de Ecuador y norte de Perú el agua superficial es más fría. Esta distribución del agua está ocasionada porque los vientos aliseos (dominantes en esta zona del océano) van de este a oeste y arrastran al agua superficial cálida hacia el oeste. Este desplazamiento del agua superficial hace posible que agua profunda y fría salga a la superficie junto a las costas de América del Sur (corriente de Humboldt). Esta corriente arrastra nutrientes del fondo, crecen las poblaciones de peces y se forman las buenas pesquerías propias de la zona. Pero cada cierto tiempo (entre 4 a 8 años) el régimen de los vientos alisios se debilita, a la vez que la masa de agua se calienta unos 3 a 7°C más que lo normal. Las anomalías de temperatura sobre la superficie del Pacífico ecuatorial se hacen más extensas y se trasladan hacia el este del Pacífico hasta llegar a tocar en ocasiones la costa de Ecuador y Perú. Este fenómeno que involucra cambios en el océano y en la atmósfera, es conocido como El Niño, mientras que anomalías contrarias a las descritas anteriormente dan lugar a los eventos La Niña.

En años El Niño, las corrientes marinas cambian en la zona durante 12 a 15 meses, impidiéndose que afloren a la superficie las corrientes frías que arrastran nutrientes del fondo y las pesquerías disminuyen su población por falta de alimento.

Los impactos del ENOS han sido ligados con anomalías hidroclimáticas alrededor del mundo. Un completo análisis realizado por Chiew & McMahon (2002) indica una clara relación ENOS-caudales. Significativo y

regionalmente consistente teleconexiones entre el ENOS y caudales son identificados en Australia y Nueva Zelanda, Sur y Centroamérica, y señales medianamente significativas son identificados en algunas partes de África y América del Norte.

Estudios de los impactos del ENOS en caudales sobre territorio peruano están documentados principalmente en los ríos de la costa norte del Pacífico peruano, donde sus impactos más fuertes han sido registrados durante los años 1982-1983 y 1997-1998 (OPS, 2000). Durante estos años los ríos del norte del Perú presentan grandes avenidas (Waylen & Caviades, 1986; Waylen & Poveda, 2002). La cordillera blanca con gran aporte glaciar en los caudales de la cuenca del río Santa (localizada en la costa central del pacífico peruano) presenta balances de masas glaciares (BMG) caracterizados por los eventos ENOS (Vuille *et al.*, 2008). Así, se tienen negativos BMG durante la fase cálida del ENOS (El Niño) y valores sobre la media de BMG durante la fase fría (La Niña). Sin embargo, la relación entre ENOS y BMG es caracterizado por ocasionales “quiebres de caídas” sobre todo desde comienzo de los años 1970, donde El Niño es asociado con valores sobre la media de BMG y La Niña con negativos valores de BMG.

Recientemente Espinoza *et al.* (2009) realizo un estudio de caudales sobre la cuenca amazónica, utilizando algunas estaciones localizadas en territorio peruano, encontrando que el primer modo de variabilidad de caudales (resultante de un análisis en componente principales es relacionado con más (menos) caudal durante los eventos La Niña (El Niño).

Los eventos ENOS que tuvieron mayor impacto en la economía peruana, como consecuencia de los desastres que causaron las grandes avenidas, fueron los de 1982-1983 y 1997-1998. Así, de acuerdo a la OPS(2000) las pérdidas directas causadas por ENOS durante el evento extremo 1997-1998 se estimaron en US\$ 1.000 millones, de los cuales 800 corresponden al Norte, como consecuencia de las lluvias excesivas, y 200 millones a la Sierra sur, por efectos de la sequía. El impacto económico de este

desastre se reflejó en la disminución significativa del producto bruto interno (PBI) del Perú, que descendió hasta en un 12% y que, relacionado con el incremento de la población, originó una notable caída del PBI per cápita del 14,3%.

Teniendo en cuenta los impactos económicos y sociales del ENOS sobre territorio peruano y por su limitado estudio, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI ([www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)) a través de la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos viene realizando estudios de “Impactos hidrológicos de los eventos El Niño y La Niña en Perú”. El presente trabajo tiene como objetivo describir por primera vez los impactos del ENOS en los regímenes de caudales en todo el territorio peruano.

## DATOS

### Índice de Oscilación del Sur (IOS)

El índice utilizado para caracterizar los eventos El Niño y La Niña para el presente estudio es el índice de oscilación del sur (IOS), obtenidos desde The Australian National Climate Centre ([http://www.bom.gov.au/climate/current/soih\\_tm1.shtml](http://www.bom.gov.au/climate/current/soih_tm1.shtml)). Este índice es bastante usado para caracterizar los ENOS, (Xu *et al.*, 2004). El IOS es estimado mediante las diferencias de valores mensuales de presión del aire entre Tahiti (aproximadamente 150°O, 18°S) y Darwin (aproximadamente 130°E, 13°S). En la bibliografía existen diferentes métodos de estimación del IOS. Pero ha sido probado que la diferencia entre estos métodos es bastante pequeña (Kawamura *et al.*, 1998). El método utilizado en este estudio es el Troup IOS, que es el valor estandarizado de la anomalía del promedio de presión a nivel del mar (MSLP) de la diferencia entre Tahiti y Darwin y expresado como sigue

$$SOI = 10 \times \frac{D_{MSLP} - \bar{D}_{MSLP}}{S_{MSLP}} \quad (1)$$

Donde:  $D_{MSLP}$  es la diferencia entre el promedio mensual MSLP en Tahiti y Darwin;  $\bar{D}_{MSLP}$  es el valor medio de  $D_{MSLP}$  y  $S_{MSLP}$  es la desviación estándar de  $D_{MSLP}$  todo sobre el período 1968-2005.

### Caudales

Las cuencas hidrográficas sobre territorio peruano están diferenciadas por la ubicación de la Cordillera de los Andes. Los ríos que drenan hacia el Océano Pacífico se caracterizan por presentar altas pendientes y tener longitudes cortas, teniendo sus picos de caudales y lluvias en simultáneo. Los ríos que desembocan en el río Amazonas están caracterizados por presentar altas pendientes en los Andes y casi nulas pendientes en el llano amazónico donde presentan grandes áreas de drenaje, los picos de las lluvias y caudales promedio sobre estas cuencas son de dos meses en el llano amazónico y de igual respuesta en los Andes. La vertiente andorrca del Titicaca está caracterizada por presentar pendientes medias por estar ubicada en una zona altiplánica, la respuesta entre las lluvias medias y el caudal durante los picos es de un mes.

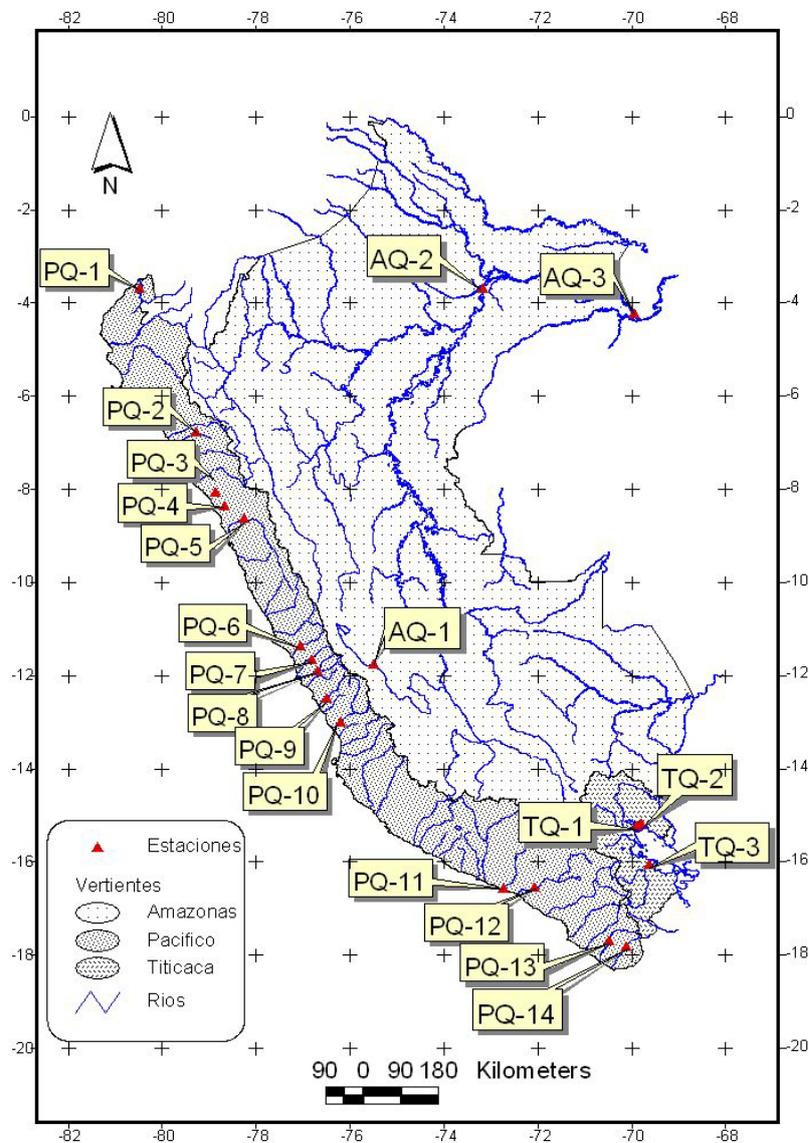
Para el presente trabajo se utilizaron 20 estaciones con información de caudales al paso de tiempo mensual: 14 sobre la vertiente del Pacífico (VP), 3 sobre la vertiente del Lago Titicaca (VT) y 3 sobre la vertiente del Amazonas (VA). Esta información fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú ([www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)) excepto la información de la estación Tabatinga (AQ-3) que proviene de la Agencia Nacional de Aguas de Brasil ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)). La información de caudales fue analizada y completada siempre y cuando las correlaciones entre estaciones vecinas tuvieran un nivel de significancia por encima del 95%. La información de caudales utilizada en este estudio comprende el periodo desde Septiembre de 1968 hasta Agosto de 2006.

La Tabla 1 muestra las estaciones utilizadas en este estudio y sus principales

características y la Fig. 1 describe la ubicación espacial de las estaciones hidrométricas utilizadas. Los ríos en la VT presentan un caudal específico promedio de 5 l por seg por km<sup>2</sup> y de los ríos de la VA consideramos uno ubicado en la parte andina (río Mantaro con 9 l por seg por km<sup>2</sup> de caudal específico) y los otros dos ubicados en el llano amazónico (Tamishiyacu y Tabatinga sobre el río Amazonas) con un caudal específico promedio de 43 l por seg por km<sup>2</sup>. Para propósito de comparación con el IOS fueron calculadas las anomalías normalizadas de caudales para cada mes, según la ecuación 2:

$$Z_{ij} = \frac{Q_{ij} - \bar{Q}_i}{\sigma_i} \quad (2)$$

Donde  $Z_{ij}$  es el valor de la anomalía normalizada de los caudales de una estación dada  $i$  para el mes  $j$  ( $i=1,2,\dots,30$ ;  $j=1,2,\dots,12$ ),  $Q_{ij}$  es el valor del caudal mensual de la estación  $i$  para el mes  $j$ ,  $\bar{Q}_i$  es el valor medio mensual de caudal de la estación para nuestro periodo de análisis y  $\sigma_i$  es la desviación estándar del valor de caudal mensual de la estación  $i$  durante el mismo periodo.



**Fig. 1.** Ubicación espacial de las estaciones utilizadas en este estudio, localizadas en las vertientes: Pacífico (PQs); Lago Titicaca (TQs) y Amazonas (AQs).

**Tabla 1.** Estaciones de caudales utilizadas en este estudio y sus principales características. Cód.: Código; Lat.: Latitud; Lon.: Longitud; Ar. Dr.: Área de drenaje; Q: Caudal; Q esp.: Caudal específico; CV: Coeficiente de variación. Pte.: Puente.

Estación	Río	Cód.	Lat. (°S)	Lon. (°O)	Altitud (m s.n.m.)	Ar. Dr. (Km <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q esp. (l/s*Km <sup>2</sup> )	CV
El Tigre	Tumbes	PQ-1	3.72	80.47	40	4802	117	24.4	0.8
Batan	Zaña	PQ-2	6.8	79.29	260	681	7	11.0	0.6
Quirihuac	Moche	PQ-3	8.08	78.87	200	1918	8	4.4	0.9
Huacapongo	Viru	PQ-4	8.38	78.67	280	941	4	3.7	1.2
Condorcerro	Santa	PQ-5	8.66	78.26	477	10353	135	13.1	0.3
Santo Domingo	Chancay-Huaral	PQ-6	11.38	77.05	697	1881	18	9.4	0.4
Larancocha	Chillon	PQ-7	11.68	76.8	120	1238	6	5.1	0.4
Chosica	Rimac	PQ-8	11.93	76.69	906	2339	31	13.4	0.2
La Capilla	Mala	PQ-9	12.52	76.5	424	2141	15	7.1	0.5
Socsi	Cañete	PQ-10	13.03	76.2	330	6003	49	8.1	0.5
Pte. Ocoña	Ocoña	PQ-11	16.42	73.12	122	16646	69	4.2	0.5
Huatiapa	Majes	PQ-12	16	72.47	699	13651	85	6.2	0.3
La Tranca	Sama	PQ-13	17.73	70.48	620	1993	3	1.3	0.6
Aguas Calientes	Caplina	PQ-14	17.85	70.12	130	569	1	1.5	0.3
Pte. Ramis	Ramis	TQ-1	15.26	69.87	385	16229	75	4.6	0.3
Pte. Huancane	Huancane	TQ-2	15.22	69.79	386	3714	20	5.3	0.4
Pte. Ilave	Ilave	TQ-3	16.09	69.63	385	8714	39	4.4	0.5
Mejorada	Mantaro	AQ-1	11.78	75.48	2819	17244	165	9.6	0.3
Tamshiyacu	Amazonas	AQ-2	4	73.16	105	733596	32445	44.2	0.1
Tabatinga	Amazonas	AQ-3	4.25	69.93	60	890308	37873	42.5	0.1

Normales corresponden a valores de IOS comprendidos entre -5 y 5.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Años El Niño, La Niña y Normales

En este estudio se utilizaron los valores suavizados de 6 meses (medias móviles) del IOS similar a lo utilizado por McKerchar et al.(1998); Chiew et al.(1998); Cluis & Laberge (2002) y Xu *et al.*(2004). Los valores del IOS mayor de 5, fueron clasificados como años La Niña; mientras que valores de IOS inferiores a -5 fueron clasificados como años El Niño. Los años

Para tener una clasificación mas cualitativa de los impactos de ENOS en los caudales se clasificaron los años El Niño fuerte (ENF) para los valores del IOS menores a -10; los años El Niño moderado (ENM) entre -10 y -5; los años Normales (N) entre -5 y 5; La Niña fuerte (LNF) para los valores mayores a 10 y los años La Niña moderada (LNM) entre 5 y 10. La Tabla 2 describe estos eventos para sus respectivos años hidrológicos. En total se observan 3 años hidrológicos para los años ENF, 9 para los ENM, 4 para las LNF y 4 para LNM.

**Tabla 2.** Clasificación de los años El Niño fuerte (ENF), El Niño moderado (ENM), La Niña fuerte (LNF), La Niña moderada (LNM) y Normales (N) en función al valor del IOS.

ENF	ENM	LNF	LNM	N
1982-83	1972-73	1970-71	1974-75	1968-69
1991-92	1977-78	1973-74	1998-99	1969-70
1997-98	1986-87	1975-76	1999-00	1976-77
	1987-88	1988-89	2000-01	1978-79
	1992-93			1979-80
	1993-94			1980-81
	1994-95			1981-82
	2002-03			1983-84
	2004-05			1984-85
				1985-86
				1989-90
				1990-91
				1995-96
				1996-97
				2001-02
				2003-04
				2005-06

Aceituno & Montecinos, 1993 –En el altiplano-; Marengo *et al.*, 1998 –en la costa norte-; Espinoza *et al.*, 2009 en la cuenca amazonica).

- Durante ENM: se caracterizan por presentar variadas respuestas en la VP presentando en los ríos de la zona norte (PQ-1 a PQ-4) cambios negativos en sus medias de hasta -30% en PQ-4, también presentan cambios negativos PQ-6, PQ-9 a PQ-14 y TQ-3, este último con un valor de cambio de -20%. Los ríos PQ-5, PQ-7, PQ-8, TQ-1, TQ-2 y los tres ríos ubicados en la VA presentan cambios positivos, pero con valores que no sobrepasa el +5% de cambio.
- Durante LNF y LNM: Se observan cambios positivos en sus valores medios sobre todos los ríos analizados siendo más marcados durante los años LNM con valores de +66% en PQ-3, +47 en PQ-11, +88% en PQ-13 y +41% en TQ-3 (Tabla 3).

### Impacto en los caudales de los Años El Niño, La Niña y Normales

#### Impacto en las características estadísticas promedios

La Tabla 3 muestra las características medias de los caudales mensuales para toda la serie histórica y para los años ENF, ENM, N, LNF y LNM. Todos estos resultados están representados espacialmente en la Fig. 2. Los principales resultados pueden ser descritos por eventos como:

- Durante ENF: Se observa claramente los fuertes crecidas durante los años ENF sobre todo en los ríos de la costa norte (PQ-1 a PQ-6), con cambios de hasta aproximadamente +200% en PQ-4 mientras que los ríos del Pacífico central y sur (PQ-7 a PQ-14), así como los ríos del Titicaca y del Amazonas, presentan descensos en sus caudales durante los años ENF con el mayor descenso presentado en TQ-3 de hasta -75% y los menores porcentajes de descenso en AQ-2 y AQ-3, esto es consistente con trabajos precedentes (i.e.

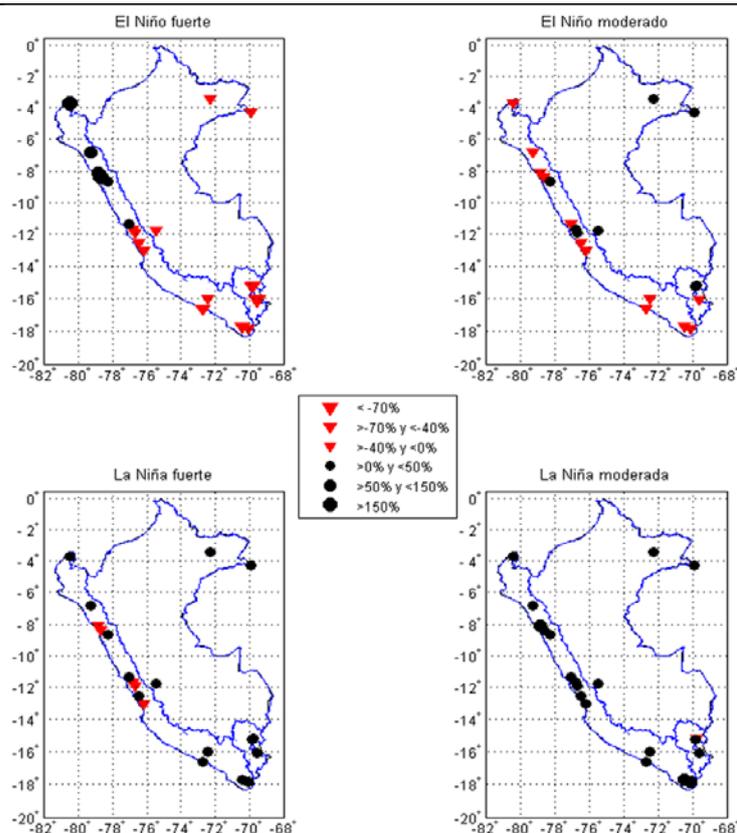
#### Impactos en los caudales mensuales

Como parte de la evaluación de los impactos de ENOS en los caudales, para el presente estudio se utilizaron adicionalmente los impactos mensuales. El comportamiento de los caudales mensuales promedios históricos en las estaciones analizadas presentan características unimodales (un solo periodo de crecida) con sus periodos de máximas crecidas en los meses de febrero y marzo en todas las estaciones excepto en las estaciones localizadas en el llano amazónico (AQ-2 y AQ-3) en las cuales las máximas crecidas se dan en abril y mayo.

Utilizando la misma metodología utilizada en la sección anterior, tenemos la Fig. 3 donde se representan los cambios durante los años El Niño (ENF y ENM), los años Normales y los años La Niña (LNF y LNM). De esta figura se extraen los principales resultados: Durante ENF: los mismos ríos que presentan los mayores cambios positivos en sus promedios estadísticos (PQ-1 a PQ-6 ver sección anterior) exhiben los mayores cambios durante los meses de diciembre y enero, llegando a tener un aumento de hasta más de 400% en PQ-4. De PQ-1 a PQ-4 los

**Tabla 3.** Estadísticas mensuales para los caudales durante los distintos periodos: Est., estaciones; Prom., promedio; CV, coeficiente de variación.

Est.	Histórico		ENF		ENM		N		LNF		LNM	
	Prom.	CV	Prom.	CV	Prom.	CV	Prom.	CV	Prom.	CV	Prom.	CV
PQ-1	120	1.4	314	1.1	112	1.3	86	1.2	127	1.2	129	1.1
PQ-2	7	1.3	17	1.5	6	0.9	6	1.0	8	0.8	10	0.8
PQ-3	8	1.9	21	2.0	7	1.4	6	1.6	8	1.3	14	1.4
PQ-4	4	2.8	11	2.4	2	1.6	3	2.6	3	1.7	4	2.1
PQ-5	136	0.9	158	0.9	141	0.9	125	0.9	144	0.9	148	0.9
PQ-6	18	1.2	20	1.2	15	1.0	18	1.3	18	0.9	19	1.2
PQ-7	6	1.0	5	1.0	6	0.9	6	1.0	5	1.1	9	0.9
PQ-8	31	0.6	28	0.6	32	0.6	31	0.6	27	0.6	38	0.6
PQ-9	15	1.4	11	1.5	15	1.3	14	1.5	21	1.4	18	1.3
PQ-10	49	1.3	45	1.1	46	1.1	51	1.4	47	1.1	51	1.0
PQ-11	69	1.2	40	1.4	61	1.1	66	1.3	89	1.2	102	1.2
PQ-12	85	1.1	64	1.0	81	1.1	80	1.0	105	1.1	107	1.1
PQ-13	3	1.8	1	2.1	2	1.4	2	1.8	3	1.6	5	1.6
PQ-14	1	0.9	1	1.4	1	0.5	1	0.7	1	0.8	1	1.0
TQ-1	75	1.2	44	1.1	79	1.1	74	1.2	86	1.3	82	1.2
TQ-2	20	1.4	12	1.1	21	1.2	20	1.4	22	1.6	19	1.5
TQ-3	39	1.6	10	1.0	30	1.5	41	1.5	50	1.6	55	1.7
AQ-1	165	0.8	119	0.6	170	0.8	163	0.8	196	0.8	186	0.8
AQ-2	32434	0.4	29608	0.4	33055	0.3	31795	0.4	35673	0.4	32621	0.4
AQ-3	37864	0.3	35112	0.3	38428	0.3	37208	0.3	40693	0.3	38605	0.3



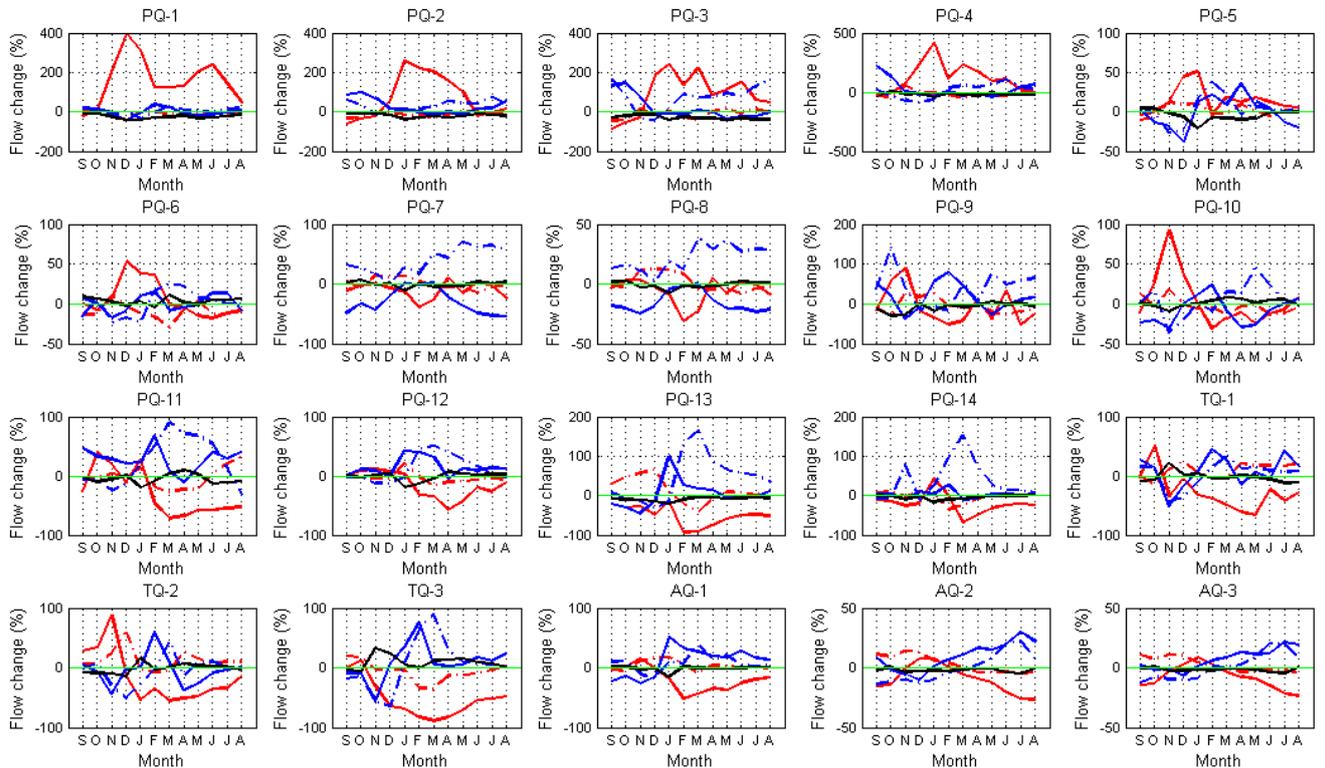
**Fig. 2.** Gráfica espacializada de los cambios en porcentajes de las medias de caudales respecto a la serie histórica para los diferentes eventos en todas las estaciones.

cambios positivos son constantes de diciembre a mayo. Los demás ríos de la VP, de la VT y de la VA presentan mayormente cambios negativos durante los eventos ENF produciéndose los mayores cambios negativos durante los meses de febrero y marzo a excepción de los ríos ubicados en el llano amazónico (AQ-2 y AQ-3) quienes presentan sus mayores cambios en agosto; de todos estos los ríos PQ-13 (febrero) y TQ-3 (marzo) son los que presentan los mayores cambios negativos de -93% y -89% respectivamente.

- Contrariamente a lo que esperábamos para los ríos que presentaron mayores cambios positivos en sus valores mensuales (diciembre a mayo) durante los años ENF (PQ-1 a PQ-4), en los años ENM estos exhiben cambios negativos durante estos meses llegando hasta -57% en el mes de marzo en PQ-4. El mismo comportamiento es observado en las otras estaciones analizadas es decir cambios negativos durante los eventos ENM. En resumen de los eventos El

Niño (ENF y ENM), se observa que los años ENF produjeron fuertes cambios positivos en los ríos de la parte norte de la VP mientras todos los demás ríos presentaron cambios negativos siendo los más intensos los presentados en la parte sur de la VP (con PQ-13, río Sama como el más intenso) y en la VT (con TQ-3, río llave como el más intenso) mientras los años ENM se caracterizan por presentar mayormente cambios negativos en todos los ríos analizados.

- Durante los años La Niña, las dos sub-clasificaciones analizadas (LNF y LNM), presentan comportamientos casi similares (ver Fig. 3) por lo que discutiremos sus resultados como un todo. Los años La Niña se caracterizan por presentar mayormente cambios positivos en los caudales del Perú. Estos últimos se dan sobre todo en los periodos de avenidas de los ríos con cambios positivos mayormente marcados en los años LNM y siendo estas consistentes en TQ-3 en la VT y en todos los ríos de la VA.



**Fig. 3.** Cambios porcentuales para cada uno de los meses en las estaciones de caudales analizadas. Línea Roja: ENF; Línea Roja punteada: ENM; Línea Negra: Normales; Línea Azul: LNM y Línea Azul punteada: LNF. Flow change (%): Cambio de los caudales respecto a los valores históricos; Eje X: meses; Eje Y: porcentajes de cambios (No siempre del mismo orden).

## RESUMEN GENERAL, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Por primera vez se realiza un estudio sobre el impacto de los eventos El Niño y La Niña en la Hidrología del Perú, empleando 20 estaciones de caudales distribuidas en las tres vertientes del Perú: 14 en la vertiente del Pacífico (VP), 3 en la vertiente del Lago Titicaca (VT) y 3 en la vertiente del Amazonas (VA). El periodo común de estudio es de 1968 – 2006.

En base a nuestros resultados podemos concluir lo siguiente:

- Se puede diferenciar que durante los años ENF se observan fuertes aumentos en los caudales en la zona norte de la VP, ya reportados antiguamente en la literatura (Waylen & Caviedes, 1986; Wells, 1987; Waylen & Poveda, 2002 y otros) pero estos mismos comportamientos no son observados durante ENM; los caudales presentan anomalías negativas en el sur de la VP, la VT y la VA siendo esta de iguales características para los años ENM en la zona sur de la VP y en el sur de la VT (río Ilave) durante los años El Niño.
- Los años La Niña son las que espacialmente presentan similares condiciones para todo el Perú: anomalías positivas, a excepción de la zona central de la VP que presenta algunas anomalías negativas en la zona central de la VP durante los años LNF.
- A nivel mensual, observamos que las mayores variaciones para los eventos ENOS se dan durante la estación húmeda (~ de enero a marzo en la VP y VT; y de ~ mayo a agosto en los ríos de planicie amazónica), siendo estas variaciones consistentes con los dos puntos descritos anteriormente.
- Algo relevante de este estudio es que de los ríos evaluados en la VT, el río Ilave (TQ-3) localizado en el sur de la vertiente exhibe comportamientos homogéneos durante los eventos analizados es decir más (menos)

caudal durante los años La Niña (El Niño) lo que no se observa con los otros dos ríos localizados en el norte de esta vertiente.

En general podríamos decir que los caudales en el sur de la VP, la VT y la VA presentan menos (mas) caudales durante los años El Niño (La Niña), resultados que concuerdan con las investigaciones de Aceituno & Montecinos, 1993, Marengo *et al.*, 1998, Dettinger *et al.*, 2000, Espinoza *et al.*, 2009, Lavado *et al.*, In preparation y otros. Este trabajo será extendido a otras variables meteorológicas como lluvias y temperaturas para finalmente tener un patrón de comportamiento general de la Hidrometeorología en Perú versus los eventos ENOS .

**Agradecimientos:** El presente trabajo se realizó con el financiamiento del Servicio Nacional de Meteorología del Perú, SENAMHI (Ministerio del Medio Ambiente) y forma parte de la actividad “Impacto Hidrológico del fenómeno El Niño y la Niña” desarrollado por la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos en 2009. Gracias a Jhan Carlo Espinoza por sus aportes en mejorar este documento. Dedicado a todos los que alguna manera nos dedicamos a realizar ciencia en hidrometeorología en el Perú pese a las adversidades.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aceituno, P. & Montecinos, A. (1993).** Análisis de la estabilidad de la relación entre la oscilación del Sur y la precipitación en América del Sur. *Bull. Inst. fr. études andines*, 22(1): 53-64.
- Cluis, D. & Laberge, C. (2002).** Analysis of the El Niño effect on the discharge of selected rivers in the Asia-Pacific region. *Water International*, 27(2): 279-293.
- Chiew, F., Piechota, T., Dracup, J. & McMahon, T. (1998).** El Niño/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting. *Journal of Hydrology*, 204: 138-149.
- Chiew, F.H.S. & McMahon, T.A. (2002).** Global ENSO-streamflow teleconnection, streamflow forecasting and interannual variability. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 47(3): 505-522.
- Dettinger, M.D., Cayan, D.R., McCabe, G.M. & Marengo, J.A. (2000).** Multiscale streamflow variability associated with El Niño/Southern

- Oscillation, in H.F. Diaz and V. Markgraf, V. (eds.), *El Niño and the Southern Oscillation--Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*: Cambridge University Press, 113-146.
- Espinoza, J.C., Guyot, J.L., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., Labat, D., Noriega, L., Oliveira, E., Ordoñez, J.J. & Vauchel, P. (2009).** Contrasting regional discharge evolutions in the amazon basin (1974 – 2004). Accepted by *Journal of Hydrology*.
- Kawamura, A., McKerchar, A., Spigel, R. & Jinno, K. (1998).** Chaotic characteristics of the Southern Oscillation Index time series. *Journal of Hydrology*, 204: 168-181.
- Lavado, W.S.C., Ronchail, J., Labat, D., Espinoza, J.C., Ordoñez, J.J. & Guyot, J.L. (In preparation).** A basin-scale trends in rainfall and runoff in Peru (1969-2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages.
- Marengo, J.A., Tomsella, J. & Uvo, C.R. (1998).** Long-term streamflow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, East Brazil, and Northwest Peru. *Journal of Geophysical Research*, 103: 1775-1783.
- McKerchar, A., Pearson, C. & Fitzharris, B. (1998).** Dependency of summer lake inflows and precipitation on spring SOI. *Journal of Hydrology*, 205: 66-80.
- OPS (2000).** Perú: Fenómeno El Niño, 1997-1998. Organización Panamericana de la Salud. Fenómeno El Niño, 1997-1998, Washigton D.C.
- Ropelewski, C.F. & Halpert, M.S. (1987).** Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El-Niño Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115(8): 1606-1626.
- Vuille, M., Kaser, G. & Juen, I. (2008).** Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *Global and Planetary Change*, 62(1-2): 14-28.
- Waylen, P. & Poveda, G. (2002).** El Nino-southern oscillation and aspects of western South American hydro-climatology. *Hydrological Processes*, 16(6): 1247-1260.
- Waylen, P.R. & Caviedes, C.N. (1986).** El Niño and annual floods on the north Peruvian littoral. *Journal of Hydrology*, 89(1-2): 141-156.
- Wells, L.E. (1987).** An alluvial record of El-Niño events from northern coastal Peru. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 92(C13): 14463-14470.
- Xu, Z.X., Takeuchi, K. & Ishidaira, H. (2004).** Correlation between El Nino-Southern Oscillation (ENSO) and precipitation in South-east Asia and the Pacific region. *Hydrological Processes*, 18(1): 107-123.