

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

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

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

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

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

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

La Cordillera Blanca es un sector de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos que se halla ubicada entre las latitudes 8°S y 10° S, y 69°O y 78° O, teniendo una longitud cercana a los 180 Km. y un área glaciaria aproximada de 700 km². Geográficamente corresponde a la Región Chavín en el norte medio del país. Todas las aguas que drenan del área glaciaria en el sector occidental se orientan indefectiblemente hacia el río Santa, el cual luego de un trayecto de 310 km entrega las aguas hacia el Océano Pacífico, teniendo una cuenca de aproximadamente 15,000 Km². y con un caudal promedio anual de aproximadamente 160 m³/seg. Sin embargo este caudal promedio no refleja realmente lo que ocurre anualmente en la cuenca pues de los aproximadamente 5 mil millones de metros cúbicos que se entregan anualmente al océano, el 80% corresponde a los meses húmedos o sea entre mediados de diciembre y mediados de abril y el saldo restante corresponde a los ocho meses restantes.

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

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

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

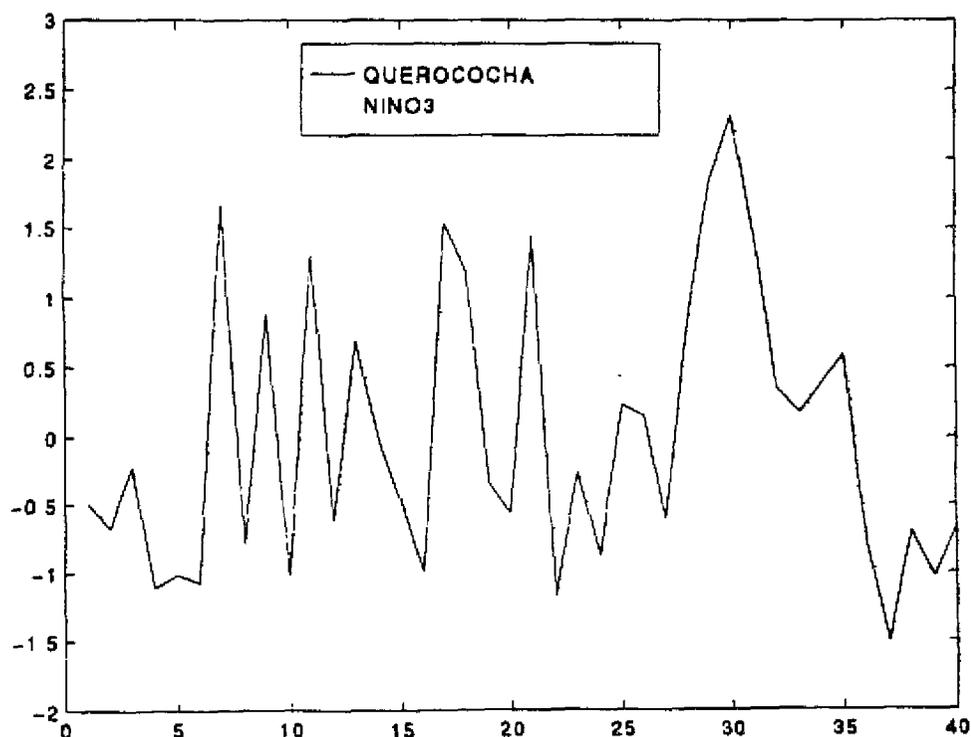


Figura 1.- TSM en la región Niño3 (línea punteada) y las anomalías de caudales provenientes del Glaciar Yanamarey en Querococha (línea llena) en el mes de Diciembre. Período: 1953-1992.

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

Justo SALCEDO BAQUERIZO
Instituto Nacional de Recursos Naturales
Lima, Perú

Para la aplicación de la parte práctica del curso se ha elegido al valle del Río Chira, ubicado en la Costa Norte del Perú, en el Departamento de Piura, por ser un valle altamente productivo y considerado dentro del grupo de los 4 valles principales con una alta incidencia en el desarrollo del país y cuenta con el reservorio más grande, y que tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 1,000,000 m³. El mismo tiene una extensión de 10,063 km² y una carga media anual de 114.48 m³/s, una superficie cultivada de 40,412 Has. y 8,000 usuarios.

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

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

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

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

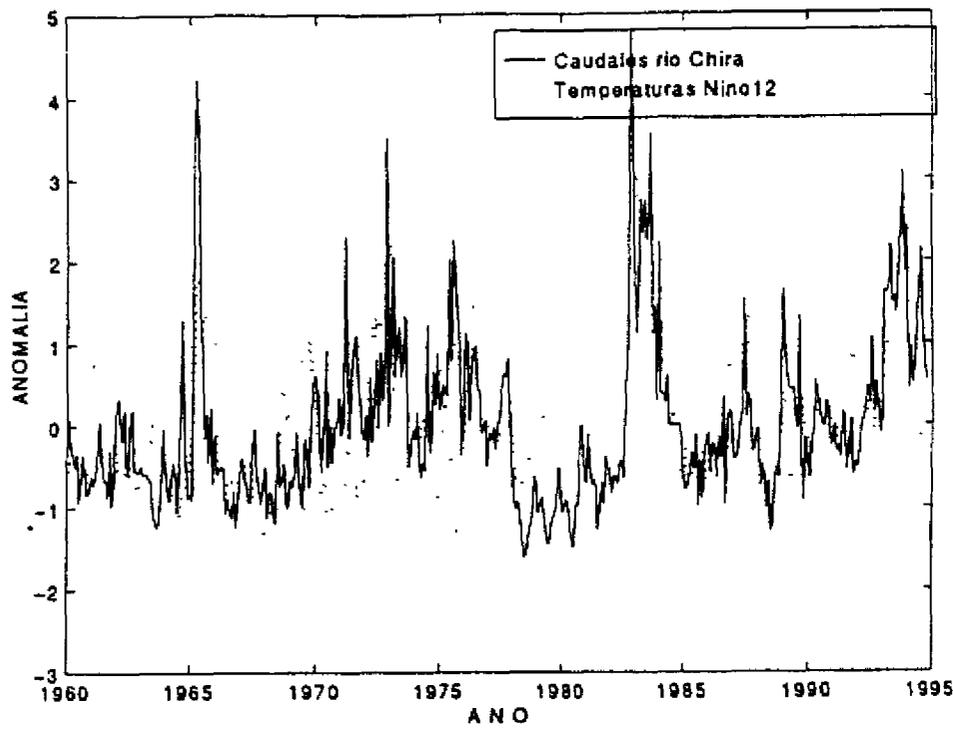


Figura 1.- Anomalías normalizadas de los caudales del Río Chira (línea llena) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño1+2 del Océano Pacífico (línea punteada).

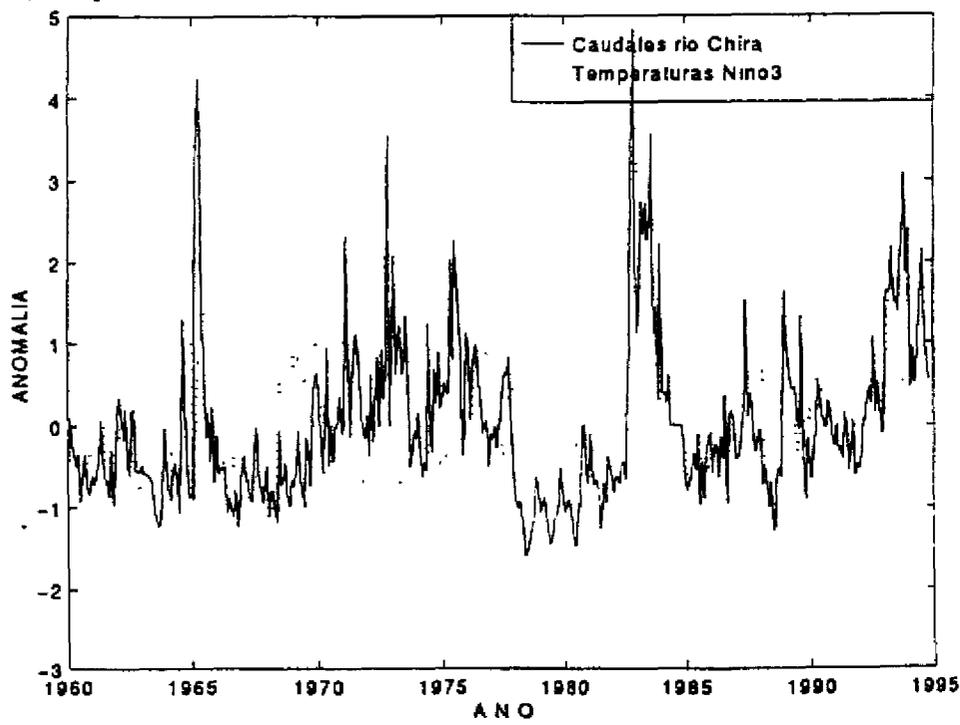


Figura 2.- Anomalías normalizadas de los caudales del Río Chira (línea llena) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño3 del Océano Pacífico (línea punteada).

INFLUENCIA DEL ENOS EN LA CUENCA DEL RIO YARACUY, VENEZUELA

Maria I. ROJAS POLANCO

Unidad de Estudios del Clima Tropical

Centro Interamericano de Desarrollo Ambiental y Territorial

Mérida, Venezuela

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

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

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

La cuenca se encuentra ubicada en el estado Yaracuy, Venezuela entre 10°04'N y 10°36'N y 68°12'O y los 69°04'O, cubriendo un área de 2236 Km² hasta su desembocadura en el Mar Caribe. El relieve de la cuenca se eleva gradualmente desde las costas hacia el interior con una topografía accidentada en las laderas de las montañas, con alturas superiores a los 500 msnm y ondulada en los valles. Por su ubicación geográfica está bajo la influencia de los vientos Alisios del Este y aún cuando son de baja intensidad se nota la convergencia de vientos intertropicales cargados de humedad los cuales son la causa principal de la lluvia en la región. La temperatura media en el área es de 26°C con fluctuaciones mensuales entre 25.4°C y 26.6°C, y la precipitación presenta su valor máximo medio en el mes de Julio con 267.5 mm y un mínimo en el mes de febrero de 4.0 mm. Los valores anuales oscilan entre los 918.9 mm y los 1546.4 mm. Con respecto a la hidrometría registrada, los mayores valores se registran en los meses de julio, agosto y septiembre.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

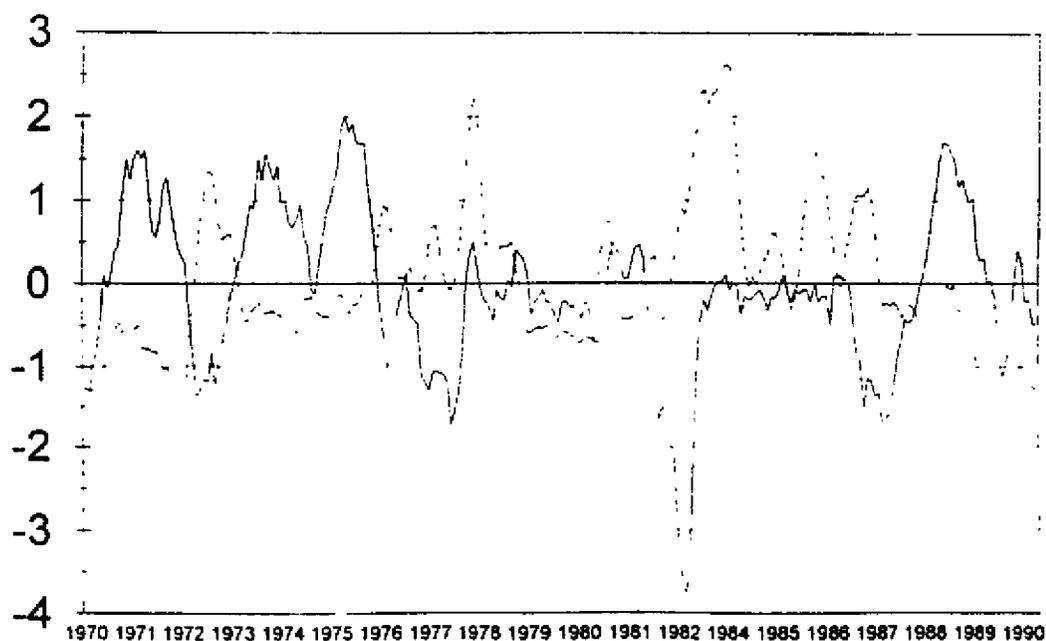


Figura 1.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puente Cumaripa (línea punteada) y el índice de oscilación del Sur (línea llena).

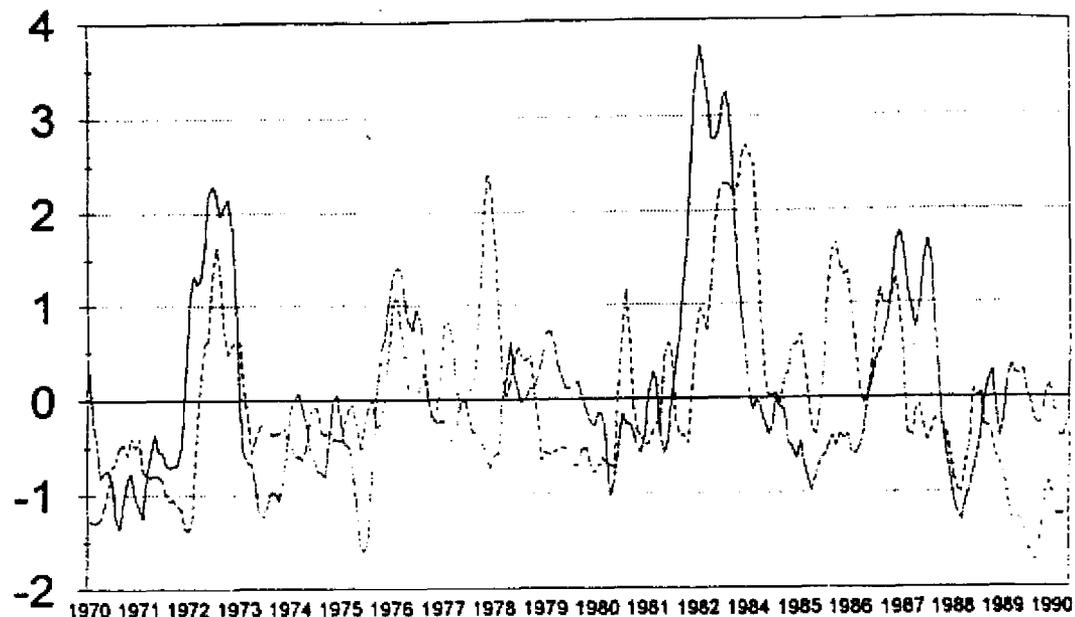


Figura 2.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puente Cumaripa (línea punteada) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño1+2 del Océano Pacífico (línea llena).

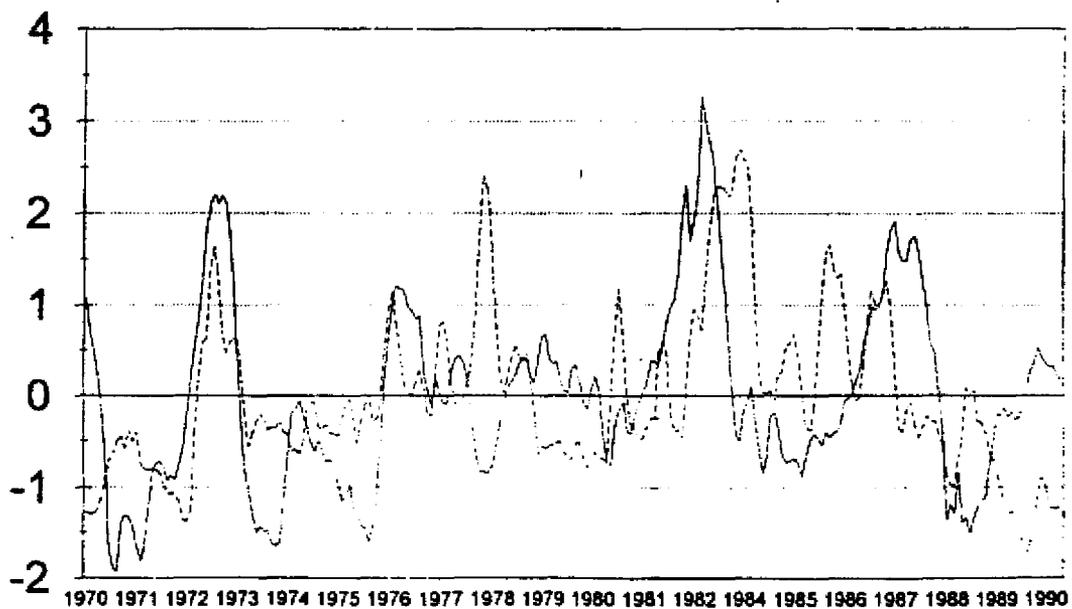


Figura 3.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puente Cumaripa (línea punteada) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño3 del Océano Pacífico (línea llena).

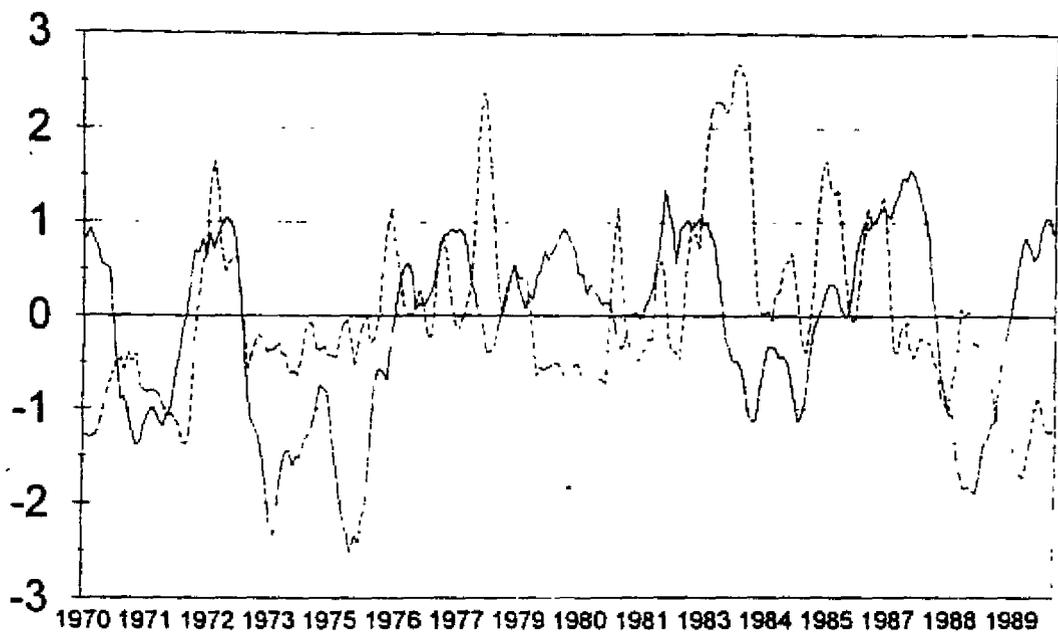


Figura 4.- Anomalías normalizadas de los caudales (promedio móvil trimestral), del río Yaracuy en la estación Puesto Cumaripa (línea punteada) y las temperaturas de la superficie del mar en la región Niño4 del Océano Pacífico (línea llena).