

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	lunar	no lunar
verano	0.521	0.379
invierno	0.535	0.424

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

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

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

	escurrimiento	lluvia
verano	0.482	0.340
invierno	0.492	0.410

CONCLUSIONES

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

REFERENCIAS

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

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

9. Acosta, A.G., 1988. El Niño: sus efectos sobre el norte de México. Ingeniería Hidráulica en México, Vol III, No. 1, II época, 13-29. 10 Mosiño P.A. y T. Morales, 1988. Los ciclones tropicales El Niño y las lluvias en Tacubaya, D.F. México. Geofísica Internacional, v27, n1, p61- 82.

11. Cayan D.R. and Webb R.H., 1992. El Niño/Southern Oscillation and streamflow in the western United States. In Diaz H.F. and Markgraf V. (eds), El Niño Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press. 29-68.

12. Michaelson, J., 1989: Long-period fluctuation in El Niño amplitude and frequency reconstructed from tree rings. In Peterson, D.H. (ed), Aspects of Climate Variability in the Pacific and Western Americas. Geophysical Monograph 55. AGU. 69.

13. Anderson, R.Y., 1990. Solar-cycle modulations of ENSO: a mechanism for Pacific and global climate change. In Betancourt, J.L. and MacKay, A.M.(eds), Proceedings, Sixth Annual Pacific Climate (PACCLIM) Workshop, march 5-8, 1989. California Department of Water Resources, Interagency Ecological studies Program Technical Report 23, 77-81

14. Quinn W.H., 1992: A study of Southern Oscillation related climatic activity for 622-1990 incorporating Nile River flood data. In Diaz H.F. and Markgraf V. (eds), El Niño Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press. 119-150

15. Fairbridge, R.W., 1984. The Nile flood as a global climate/solar proxy. In Morner, A. and Karlén, W.(eds), Climatic Changes on a yearly to Millennial Basis. Dordrecht, Reidel, 181-190.

16. Halfman, J.D. and Johnson, T.C., 1988. High resolution record of cyclic climatic change during the past 4ka from lake Turkana, Kenya. Geology, v16, 496-500.

17. Bradley, D.A., Woodbury, M.A. and Brier, G.W., 1962. Science, v 137, 748.

18. Balling, R.C., and Cerveny, R.S., 1995. Influences of lunar phase on daily global temperatures, Science, v 267, 1481.

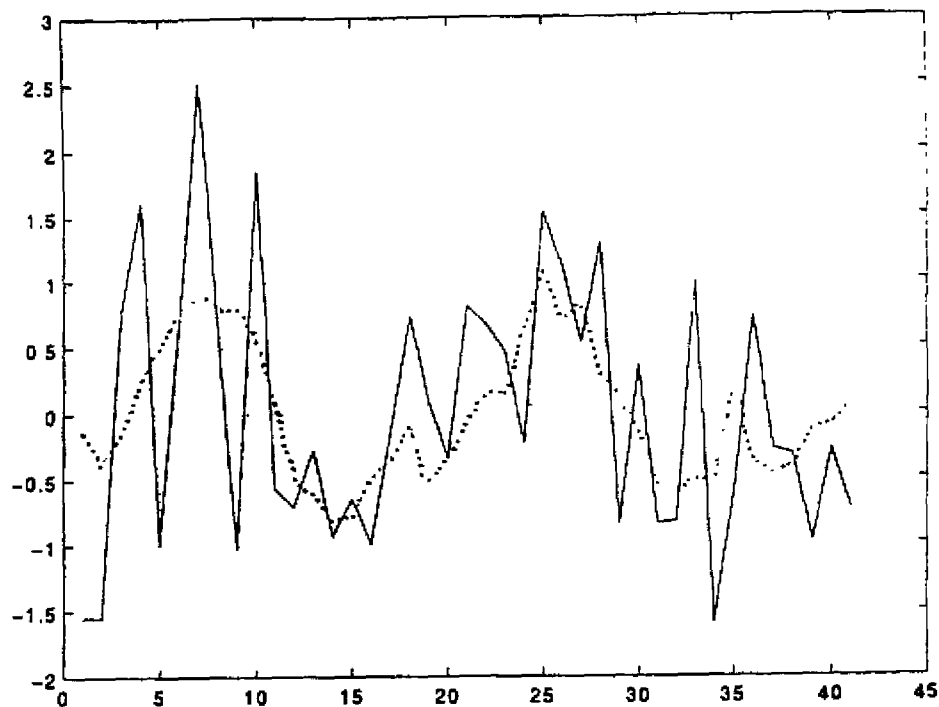


Figura 1.- Valores observados (línea llena) y valores calculados (línea de puntos) de la precipitación de verano en México, como promedio de dos regiones diferentes.

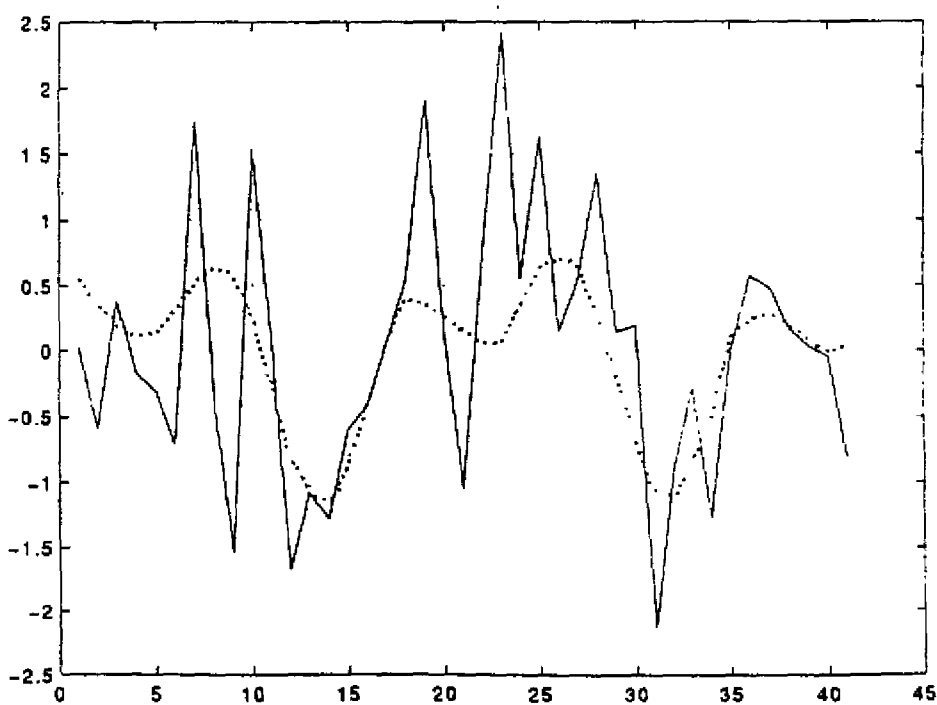


Figura 2.- Valores observados (línea llena) y valores calculados (línea de puntos) de la precipitación de invierno en México, como promedio de dos regiones diferentes.

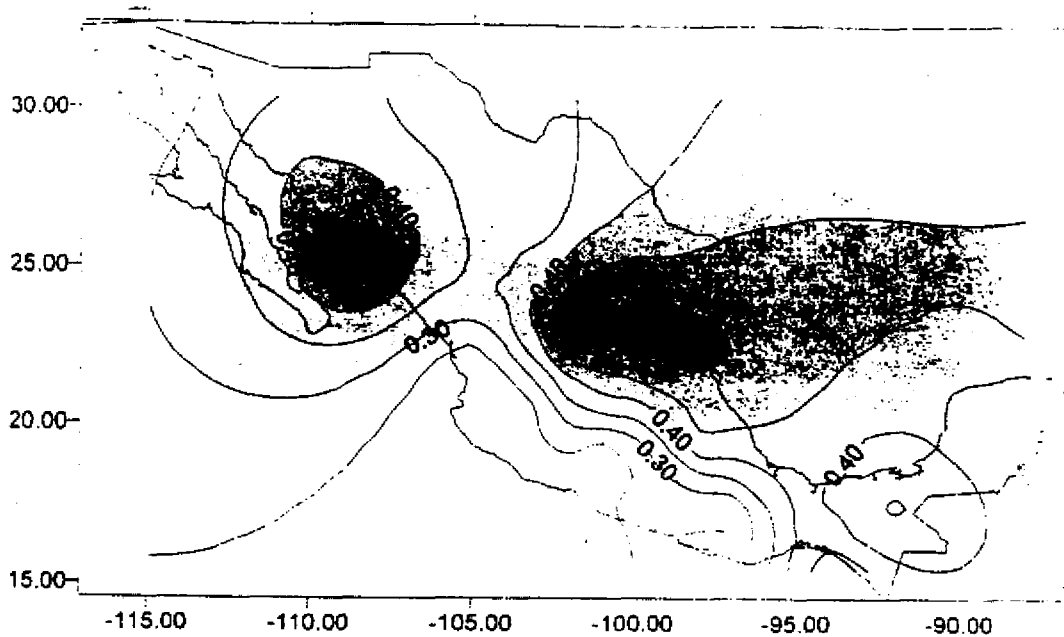


Figura 3.- Coeficientes de correlación entre los valores observados y los obtenidos mediante el modelo, para la precipitación de verano en México en las 27 regiones.

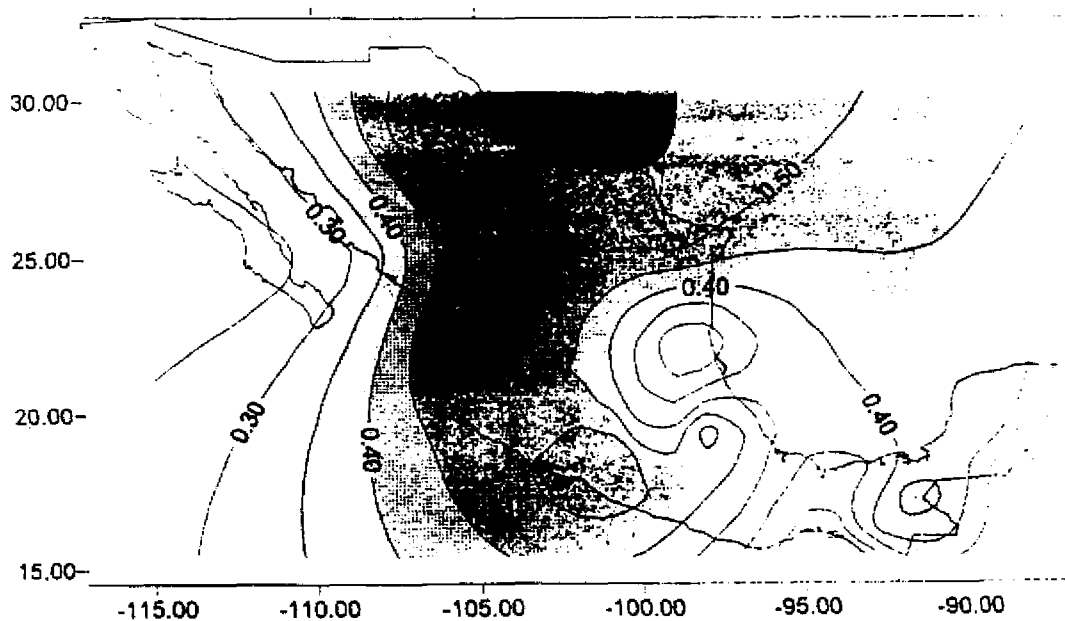


Figura 4.- Coeficientes de correlación entre los valores observados y los obtenidos mediante el modelo, para la precipitación de invierno en México en las 27 regiones.

ESTUDIO PRELIMINAR ACERCA DEL NIÑO Y SU INFLUENCIA EN LA PREDICCIÓN DE CAUDAL EN LA CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ

Abril MENDEZ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Caso 1:} \quad Q &= -0.933 N4(\text{ASO}) + 0.789 AT(\text{ASO}) + 0.674 Q(\text{ASO}) + 0.069 \\ R &= 0.74 \quad Fo(3.14) = 5.89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Caso 2:} \quad Q &= -0.430528 N4(\text{ASO}) - 0.002065 \\ R &= 0.52 \quad Fo(1.16) = 5.91 \end{aligned}$$

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

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

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

CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

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

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

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

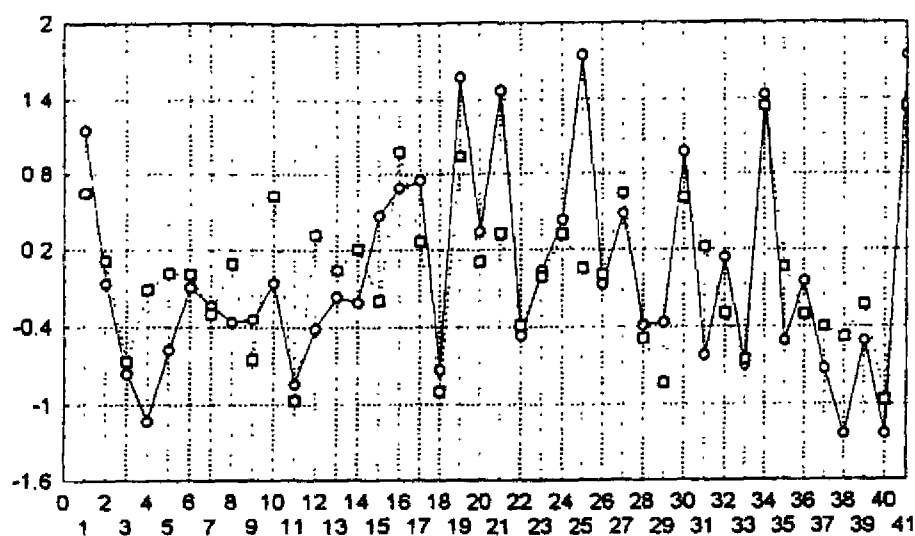


Figura 1.- Anomalías estandarizadas de los caudales observados (línea llena) en el río Chiriquí estación Hornitos y caudales calculados (línea de puntos) en el trimestre Nov-Dic-Ene. Período: 1955-1994.

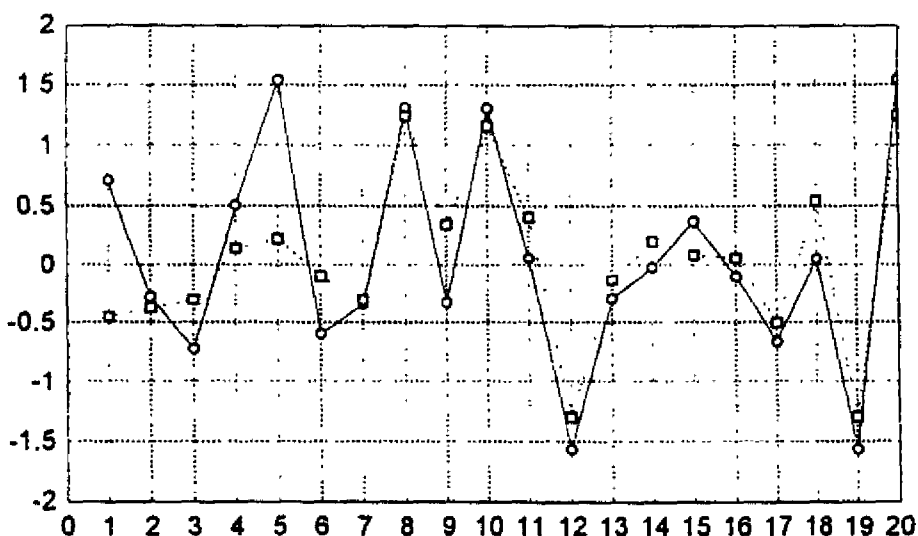


Figura 2.- Anomalías estandarizadas de los caudales observados (línea llena) en el río Chiriquí estación Interamericana y caudales calculados (línea de puntos) en el trimestre Set-Oct-Nov. El período analizado es 1955-1994.