

## Algunas relaciones entre las zonas de surgencia del Pacífico Centroamericano y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical

Eric J. Alfaro<sup>1,2</sup> y Omar G. Lizano<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>DFAOP-Escuela de Física, Centro de Investigaciones Geofísicas.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, 2060-San José, Costa Rica. Fax: (506) 234-2703. Correo electrónico: ejalfaro@cariari.ucr.ac.cr, olizano@cariari.ucr.ac.cr

(Recibido 26-VI-2000. Revisado 24-IX-2000. Aceptado 7-II-2001)

**Abstract:** In order to explore the influence of the surrounding tropical oceans on the Central American Pacific coast, a Transfer Function Model was fixed to Sea Surface Temperature Anomalies (SSTA) of the Gulf of Tehuantepec, Papagayo, Panama and Quepos time series. As independent variables the following were used: Niño 3.4, Tropical North and South Atlantic indices. These models show that Niño 3.4 has the most important influence over the region when compared with the influence of the other indices, having positive correlation with all the SSTA series. It shows an influence of this index on the relative termocline's depth in front of the Central American Pacific Coast.

**Key words:** Tropical North Eastern Pacific, ENSO, Atlantic variability, transfer function models, upwelling .

Estudios recientes han mostrado que las variaciones interanuales de las regiones del Pacífico Ecuatorial Este y del Atlántico Tropical (Trenberth 1997, Alfaro 2000, Alfaro y Soley 2000a), influyen la variabilidad interanual de los campos de precipitación en la región mesoamericana (e.g. Alfaro y Cid 1999, Enfield y Alfaro 1999, Alfaro y Soley 2000b). Por otro lado, Badan-Dangon (1998) y Trasviña *et al.* (1999), discuten que un factor oceanográfico importante en la determinación del clima local, tanto atmosférico como oceánico, es la aparición de zonas de afloramiento en las regiones de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo y Panamá (Müller-Karger y Fuentes-Yaco 2000), además de la existencia de un Domo Térmico frente a las costas de Costa Rica y Nicaragua (Umatani y Yamagata 1991). Estas zonas anteriormente descritas, se caracterizan por tener una termoclina somera, lo

que las hace importantes por su influencia sobre los ecosistemas marinos existentes en la región del Pacífico Tropical Noreste, debido a que ellas brindan nutrientes a la zona eufótica y así sostener la productividad biológica (Badan-Dangon 1998). Para estudiar esta productividad, Müller-Karger y Fuentes-Yaco (2000) usaron imágenes del "Coastal Zone Color Scanner" (Satélite Nimbus 7) y notaron que las concentraciones del fitoplancton en estas zonas varía entre 2 y más de 10 mg m<sup>-3</sup> dentro de los 70 km fuera de la costa y es de aproximadamente 1 mg m<sup>-3</sup> a 600 km fuera de la costa, especialmente durante el invierno boreal.

A pesar de que se ha discutido que la intensidad de estos afloramientos esta influenciada principalmente por la intensidad del flujo alisio (e.g. Clarke 1988, Legeckis 1988, McCreary *et al.* 1989), modulado a su vez

principalmente por el anticiclón subtropical del Atlántico Norte (Portig 1976), Trasviña *et al.* (1999) discuten que la variabilidad en estas regiones podría estar dominada por aspectos de mayor escala que la local tales como el ENOS y/o las variaciones interanuales de la piscina de agua cálida del Pacífico Tropical Noreste (Magaña *et al.* 1999); ya que a pesar de que durante los eventos cálidos del ENOS se observa una mayor intensidad del viento noreste sobre Centroamérica, la termoclina parece profundizarse, debido a la generación de ondas tipo Kelvin que dominan la dinámica oceánica en la región.

Debido a lo anterior es que se plantea como objetivo de este trabajo el cuantificar, por medio de modelos de función de transferencia y a escalas temporales de más de un mes, la influencia de las variaciones interanuales de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en las regiones del Pacífico Ecuatorial Este y del Atlántico Tropical, sobre las anomalías de TSM en las regiones de surgencia en el Pacífico Centroamericano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos de función de transferencia son usados en ciencias para predecir los valores presentes de una serie de tiempo usando valores pasados de esta misma y/u otra(s) serie(s) de tiempo (Vandaele 1983). En estos modelos, la serie de salida esta dada por

$$Y_t = f(X_t) + N_t \quad (1)$$

donde  $X_t$  es el vector de estado de las series predictoras,  $f(X_t)$  es la llamada "función de transferencia" que se quiere modelar y  $N_t$  es un proceso de ruido blanco. La forma general de la función de transferencia es:

$$f(X_t) = \frac{(U_0 + U_1B + \dots + U_sB^s)}{(1 - S_1B - S_2B^2 - \dots - S_rB^r)} X_t \quad (2)$$

donde  $U(B)$  y  $S(B)$  son polinomios y  $B$  es el operador de retraso, definido de manera que  $B^k(Y_t) = Y_{t-k}$ . Otra forma de escribir la ec. (2) es,

$$f(X_t) = \frac{(U_{0+b}B^{0+b} + U_{1+b}B^{1+b} + \dots + U_{s+b}B^{s+b})}{(1 - S_1B - S_2B^2 - \dots - S_rB^r)} X_t \quad (3)$$

La ec. (2) tiene la ventaja de resaltar el retraso de  $B$ , mientras que la notación usada en la ec. (3) expresa claramente los coeficientes en términos de  $X_t$  sobre los cuales operan. Ambas representaciones pueden ser escritas de la forma:

$$f(X_t) = n(B)X_t = (n_0 + n_1B + n_2B^2 + \dots)X_t \quad (4)$$

donde  $v(B)$  es algebraicamente equivalente a la razón polinomial  $U(B)/S(B)$  y los coeficientes  $v_i$  son los llamados "pesos de respuesta a los pulsos", los cuales son calculados con la ayuda de la función de correlación cruzada, luego de "preblanquear" la variable dependiente con la estructura autorregresiva-media móvil de la(s) variable(s) independiente(s), ya que si  $X$  y/o  $Y$  contienen una estructura autorregresiva o no son estacionarias alrededor de la media, la función de correlación cruzada reflejará relaciones ficticias (Box *et al.* 1994).

En resumen, el análisis de la función de transferencia tiene tres pasos principales:

1. Un preanálisis de ambas series para facilitar el cálculo de los estadísticos a ser usados en la identificación de la función de transferencia.
2. Una identificación de la función de transferencia y el cálculo de los residuos  $N_t$ .
3. Un ajuste de un modelo ARMA a  $N_t$  y la evaluación del modelo como un todo.

Para la elaboración de los distintos índices usados en este análisis, se utilizó el conjunto de datos de TSM elaborado por Smith y Reynolds (1998), en cuadrículas de  $1^\circ \times 1^\circ$ . Como predictores, se usaron los índices de TSM del Atlántico Tropical propuestos por Enfield (1996) y el índice Niño 3.4 descrito por Trenberth (1997). Las áreas que corresponden a estos índices están entre  $22^\circ\text{N}-6^\circ\text{N}$  y  $80^\circ\text{W}-15^\circ\text{W}$  para el Atlántico Tropical Norte (ATN); entre  $2^\circ\text{N}-22^\circ\text{S}$  y  $35^\circ\text{W}-15^\circ\text{E}$  para el Atlántico Tropical Sur (ATS) y entre  $5^\circ\text{N}-5^\circ\text{S}$

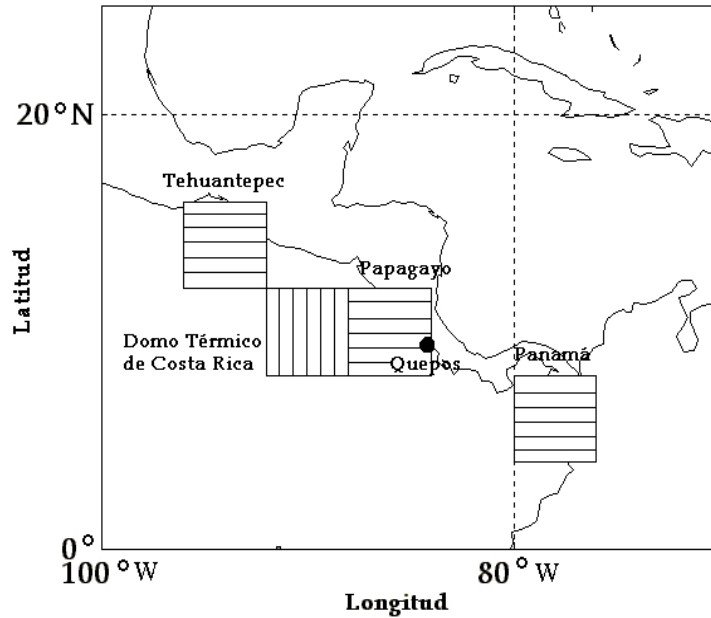


Fig. 1. Regiones frente a la costa pacífica centroamericana usadas en el análisis: Tehuantepec ( $96^{\circ}\text{W}$ - $92^{\circ}\text{W}$ ,  $16^{\circ}\text{N}$ - $12^{\circ}\text{N}$ ), Papagayo ( $88^{\circ}\text{W}$ - $84^{\circ}\text{W}$ ,  $12^{\circ}\text{N}$ - $8^{\circ}\text{N}$ ), el Domo Térmico de Costa Rica ( $92^{\circ}\text{W}$ - $88^{\circ}\text{W}$ ,  $12^{\circ}\text{N}$ - $8^{\circ}\text{N}$ ), Panamá ( $80^{\circ}\text{W}$ - $76^{\circ}\text{W}$ ,  $8^{\circ}\text{N}$ - $4^{\circ}\text{N}$ ) y Quepos ( $9^{\circ} 24' \text{N}$ ,  $84^{\circ} 10' \text{W}$ ).

y  $170^{\circ}\text{W}$ - $120^{\circ}\text{W}$ , para la región Niño 3.4. Estos índices fueron calculados como las anomalías del promedio de los puntos de la malla dentro de un área oceánica determinada. En forma similar se escogieron, de acuerdo a Müller-Karger y Fuentes-Yaco (2000) y Umantani y Yamagata (1991), los índices de TSM para las regiones de Tehuantepec ( $96^{\circ}\text{W}$ - $92^{\circ}\text{W}$ ,  $16^{\circ}\text{N}$ - $12^{\circ}\text{N}$ ), Papagayo ( $88^{\circ}\text{W}$ - $84^{\circ}\text{W}$ ,  $12^{\circ}\text{N}$ - $8^{\circ}\text{N}$ ), el Domo Térmico de Costa Rica ( $92^{\circ}\text{W}$ - $88^{\circ}\text{W}$ ,  $12^{\circ}\text{N}$ - $8^{\circ}\text{N}$ ) y Panamá ( $80^{\circ}\text{W}$ - $76^{\circ}\text{W}$ ,  $8^{\circ}\text{N}$ - $4^{\circ}\text{N}$ ). Por último y con fines de comparación, se usaron los datos de TSM de la estación de Quepos ( $9^{\circ}24' \text{N}$ ,  $84^{\circ}10' \text{W}$ ) que no corresponde explícitamente a una región de surgencia. Las diferentes regiones, frente a la costa pacífica centroamericana se presentan en la Fig. 1. El período de tiempo utilizado para todos los índices descritos anteriormente fue de enero de 1950 a agosto de 1999, excepto para los datos de Quepos en donde este período comprendió entre abril de 1971 y junio de 1995. Las distintas series de tiempo usadas en el análisis, se presentan en la Fig. 2.

Como primer paso, se procedió al análisis exploratorio de los datos, para corregir posibles tendencias y puntos atípicos. Luego se obtuvieron las series de anomalías de las estaciones, como la diferencia entre el valor mensual de temperatura y su promedio del mes correspondiente. Estos últimos fueron calculados tomando en cuenta el total del período de la serie. Este procedimiento elimina la componente estacional, lo cual elimina los picos espectrales correspondientes al ciclo anual y sus armónicos, 6, 4 y 3 meses, ya que las secuencias estacionales no son estacionarias (Alfaro y Soley 2000b). Esto último permite el uso de un modelo estacionario tipo ARMA o de función de transferencia (Lütkepohl 1993). Posteriormente se inspeccionó las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial para efectuar el proceso de preblanqueo de las variables dependientes y calcular la función de correlación cruzada entre los distintos predictores y los índices de la costa pacífica centroamericana.

Los coeficientes de los modelos de función de transferencia se ajustaron por medio del mé-

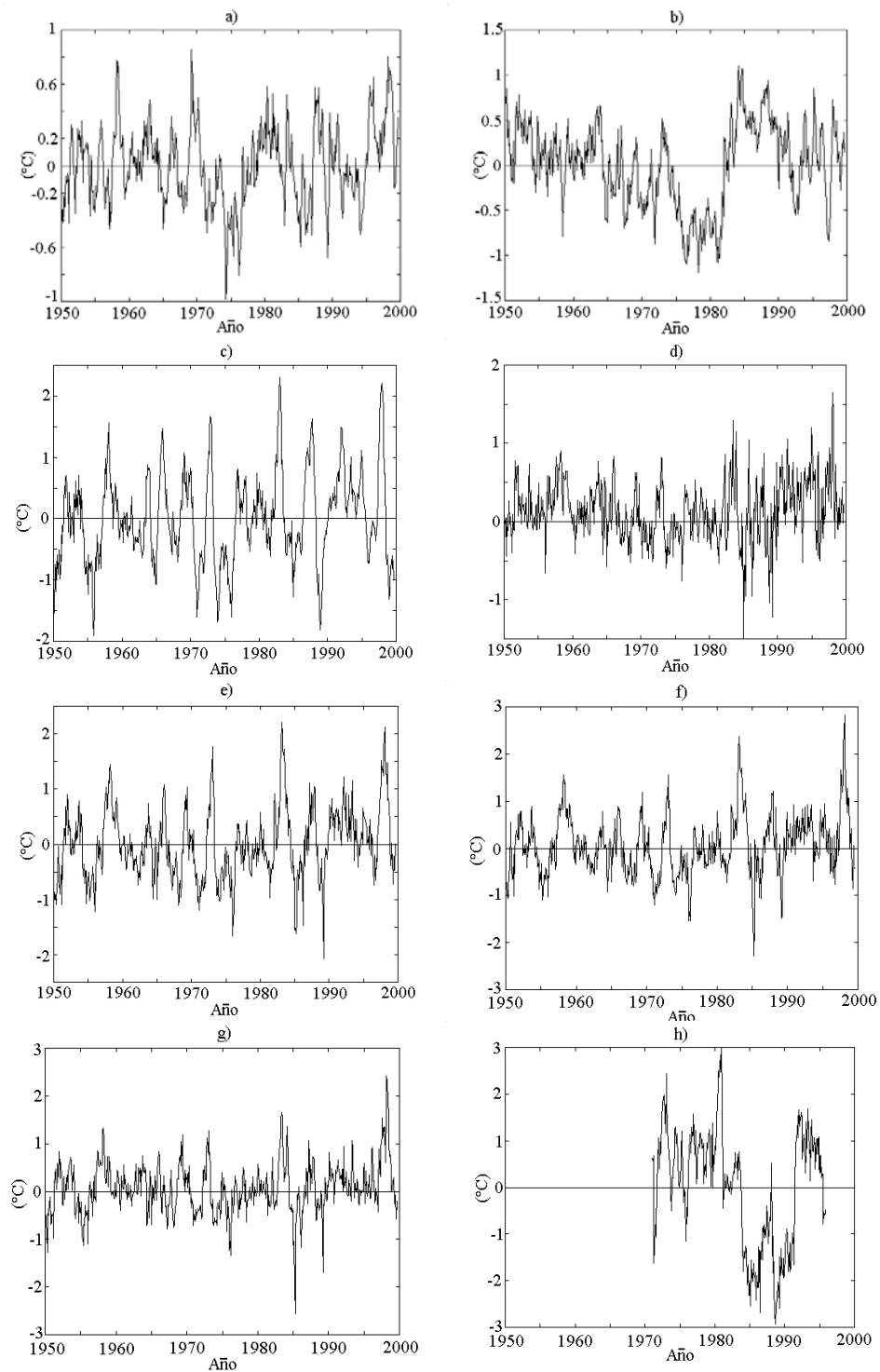


Fig. 2. Series de tiempo de ATSM usadas en el análisis: a) ATN, b) ATS, c) Niño 3.4, d) Tehuantepec, e) Papagayo, f) Domo Térmico de Costa Rica, g) Panamá y h) Quepos.

método de máxima verosimilitud (Anónimo 1992) y se conservaron sólo los coeficientes que resultaron significativos al 95% (valor- $p \leq 0.05$ ).

Para evaluar la calidad del ajuste del modelo, se verificó la aleatoriedad de los residuos por medio del criterio propuesto por Vandaele (1983). El cual consiste en obtener el primer coeficiente de la Función de Autocorrelación (FAC) de la primera diferencia de las series de los residuos. Teóricamente, este coeficiente debería tener un valor aproximado a -0.5 para el retraso 1 pues corresponde a un proceso MA(1) con  $\theta_1 = 1.00$  (Box *et al.* 1994). Además de lo anterior, se revisó las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de los residuos para verificar que fueran secuencias de ruido blanco. Por último, para la eva-

luación del pronóstico, se realizó una validación cruzada de los distintos modelos ajustados en los períodos de tiempo considerados y se estimó el coeficiente de correlación entre los datos observados y los pronosticados para  $t + 1$ , el cual es el sugerido por Alfaro y Cid (1999) como el mejor para ser usado en predicción.

## RESULTADOS

El análisis exploratorio no mostró ningún aspecto que destacar de tendencias o datos atípicos de las series de tiempo usadas, excepto para el índice ATS, al cual se le removió una tendencia positiva significativa al 95%. En el Cuadro 1 se muestra el resumen de las estadísticas para las series utilizadas y en el

CUADRO 1

*Resumen de los estadísticos de las series de tiempo utilizadas. Todas las series fueron centradas con promedio cero y son de 596 datos, excepto la de Quepos donde se utilizaron 291 datos*

ÍNDICE	ATN	ATS	N3.4	TEH	PAP	DTCR	PAN	QUE
$\sigma$	0.29	0.46	0.74	0.39	0.64	0.63	0.53	1.25
Moda	-0.01	0.04	-0.04	-0.02	-0.06	0.01	0.04	0.30
Mínimo	-0.98	-1.19	-1.90	-1.62	-2.08	-2.27	-2.56	-2.92
Máximo	0.85	1.10	2.30	1.51	2.21	2.83	2.42	3.00
Cuartil Inferior	-0.20	-0.33	-0.50	-0.24	-0.44	-0.34	-0.24	-1.07
Cuartil Superior	0.19	0.36	0.46	0.25	0.38	0.42	0.37	0.92
Skewness	0.08	-0.29	0.29	0.08	0.42	0.52	0.24	-0.32
Kurtosis	0.11	-0.53	0.13	1.02	0.52	1.37	2.63	-0.70

Las siglas: ATN, ATS, N3.4, TEH, PAP, PAN, DTCR y QUE, representan los índices de anomalías de TSM o ATSM para las zonas del Atlántico Tropical Norte, Atlántico Tropical Sur, Niño 3.4, Tehuantepec, Papagayo, Panamá, el Domo Térmico de Costa Rica y Quepos, respectivamente.

CUADRO 2

*Coefficientes de correlación, para retraso cero, entre las series de tiempo usadas en el análisis*

ÍNDICE	ATS	N3.4	TEH	PAP	PAN	DTCR	QUE
ATN	0.08	0.29*	0.27*	0.44*	0.50*	0.48*	0.01
ATS	-	0.08	0.11	0.16	0.12	0.18	-0.59
N3.4	-	-	0.50*	0.77*	0.61*	0.71*	0.36*
TEH	-	-	-	0.71*	0.59*	0.69*	0.29
PAP	-	-	-	-	0.86*	0.94*	0.30
PAN	-	-	-	-	-	0.83*	0.27*
DTCR	-	-	-	-	-	-	0.24

Los valores con asterisco resultaron significativos al 95%.

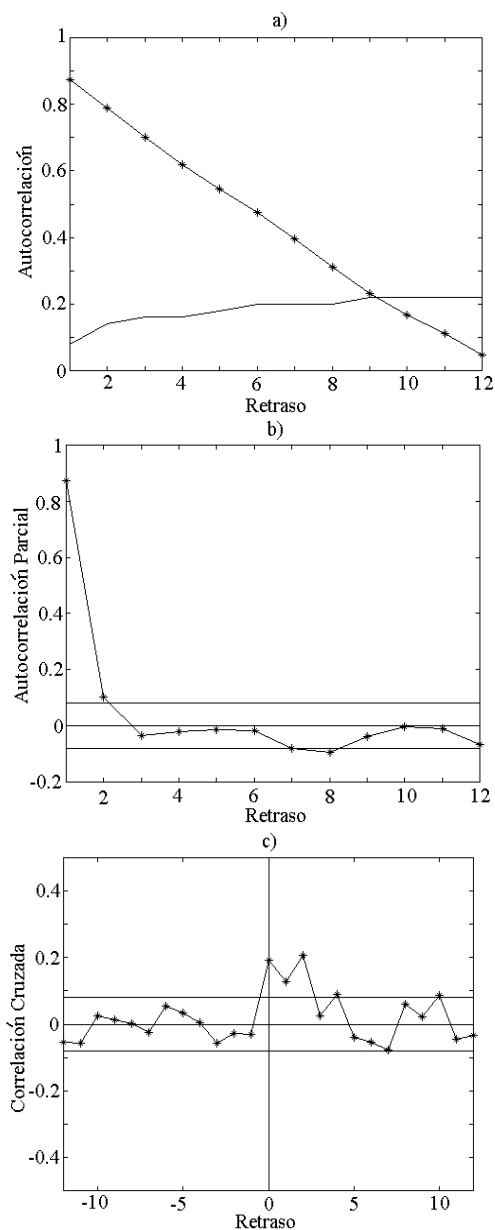


Fig. 3. Función de a) Autocorrelación, b) Autocorrelación Parcial y de c) Correlación Cruzada (líneas con asteriscos) con el índice Niño 3.4, para la serie de ATSM de Papagayo, donde retrasos positivos significan que el índice Niño 3.4 antecede al de Papagayo. Las líneas continuas representan dos veces el error estándar.

Cuadro 2 se muestran los coeficientes de correlación entre las distintas series usadas. Los valores con asterisco son aquellos que resulta-

ron significativos al 95% de acuerdo a Ebisu-zaki (1997), el cual sugiere efectuar la prueba de significancia de las correlaciones de acuerdo a los grados efectivos de libertad entre las series cuando estas presentan autocorrelación. De esta tabla se nota que solo los índices ATN y Niño 3.4 tuvieron correlaciones positivas y significativas con las zonas del Pacífico Centroamericano para un retraso cero, siendo mayores aquellas relacionadas con el Pacífico Tropical Este. La serie de Quepos solo mostró relaciones positivas y significativas con los índices de Niño 3.4 y Panamá. Por último, se nota que todas las series del Pacífico Tropical Noreste mostraron correlaciones significativas entre sí.

La inspección de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial, sugirió procesos autorregresivos para todas las series ya que se observó para todas las series un decaimiento exponencial en la primera y picos significativos, principalmente en retrasos 1 y 2, en la segunda; lo cual fue también observado al efectuar la función de correlación cruzada con el índice Niño 3.4, pues esta sugirió una relación de causalidad, de este último sobre los índices del Pacífico Centroamericano (posteriormente a ser preblanqueados), en estos mismos rezagos. Como un ejemplo de este comportamiento se muestra en la Fig. 3, la función de autocorrelación, autocorrelación parcial y de correlación cruzada para la serie anomalías de TSM (ATSM) de Papagayo.

Los modelos ajustados a las series se pueden resumir en el siguiente sistema de ecuaciones,

$$(5) \quad \begin{aligned} Pap_t = & 0.683Pap_{t-1} + 0.137Pap_{t-2} + 0.210N3.4_{t-1} \\ & + 0.312N3.4_{t-2} + a_t \end{aligned}$$

$$(6) \quad \begin{aligned} Pan_t = & 0.784Pan_{t-1} + 0.215N3.4_{t-2} + b_t \end{aligned}$$

$$(7) \quad \begin{aligned} DTCR_t = & 0.703DTCR_{t-1} + 0.200DTRC_{t-2} \\ & + 0.133N3.4_{t-1} + 0.195N3.4_{t-2} + c_t \end{aligned}$$

$$(8) \quad \begin{aligned} Teh = & 0.610Teh_{t-1} + 0.082Teh_{t-2} + 0.114N3.4_{t-1} \\ & + 0.165ATS_{t-1} - 0.220ATS_{t-5} + d_t \end{aligned}$$

(9)

$$Que_t = 0.767Que_{t-1} + 0.156Que_{t-3} + 0.430N3.4_{t-1} - 0.479ATS_{t-5} + e_t$$

donde las siglas: *Pap*, *Pan*, *DTCR*, *Teh*, *Que*, *N3.4* y *ATS*, representan los índices de ATSM para las zonas de Papagayo, Panamá, el Domo Térmico de Costa Rica, Tehuantepec, Quepos, Niño 3.4 y el Atlántico Tropical Sur respectivamente. Las secuencias  $a_t, \dots, e_t$  representan procesos de ruido blanco.

Del sistema de ecuaciones cinco a nueve, notamos que todos los modelos presentaron características autorregresivas con coeficientes significativos AR(1) y/o AR(2), además de coeficientes U(1) y/o U(2), en su función de transferencia, con el índice Niño 3.4, el cual fue el índice que ejerció mayor influencia sobre las series de TSM del Pacífico Centroamericano. Lo anterior está de acuerdo con Trasviña *et al.* (1999), quienes concluyen que eventos cálidos (fríos) del ENOS influyen en forma positiva (negativa) sobre las ATSM del Pacífico Tropical Noreste.

En segundo grado, se notó cierta influencia del índice ATS con coeficientes U(1) y U(5) sobre la serie de Tehuantepec y U(5) sobre la serie de Quepos. El coeficiente positivo de rezago 1 del ATS sobre la serie de Tehuantepec podría ser una influencia indirecta de la región del Niño 3.4, ya que Alfaro y Cid (1999), encontraron una relación positiva precediendo por un mes la serie del Niño 3.4 a la del ATS. Mientras que la influencia negativa del índice ATS para un retraso de cinco meses sobre las series de Tehuantepec y Quepos podría estar explicado por el siguiente modelo conceptual: según lo descrito por Uvo *et al.* (1998), se sugiere un corrimiento hacia el Sur (Norte) de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT) del Atlántico durante los eventos cálidos (fríos) en la región del ATS. Esto afectaría la estabilidad atmosférica en la región del ATN aumentándola (disminuyéndola) (Alfaro y Soley 2000a), lo cual también se podría relacionar con un mayor (menor) flujo alisio sobre el Caribe, que repercutiría a su vez, en un reforzamiento (debilitamiento) de la surgencia en el Pacífico Centroamericano, especialmente durante el invierno boreal.

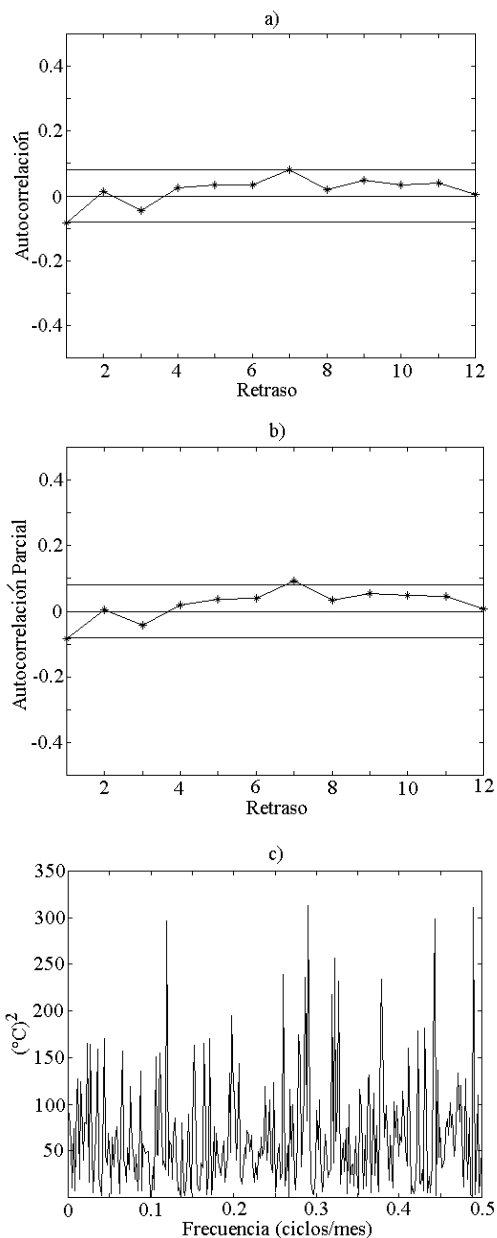


Fig. 4. Función de a) Autocorrelación, b) Autocorrelación Parcial (líneas con asteriscos) y c) Periodograma, para la serie de residuos de ATSM de Panamá. Las líneas continuas en a) y b) representan dos veces el error estándar.

Los primeros coeficientes de la Función de Autocorrelación (FAC) de la primera diferencia de las series de los residuos fueron: -0.47, -0.54, -0.45, -0.51 y -0.53 para las series de

Pap, Pan, DTCR, Teh y Que, respectivamente. Se observa que los valores estuvieron bastante cercanos al valor teórico de  $-0.5$  ( $\theta_1 = 1.0$ ), siendo el que más se apartó de este comportamiento el de la serie del Domo Térmico de Costa Rica ( $-0.45$ ) y el que mejor se ajustó fue el de la serie de Tehuantepec ( $-0.51$ ). Adicionalmente, la inspección de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de los residuos, tampoco mostraron señales importantes que destacar propias de secuencias de ruido blanco. Como un ejemplo de lo anterior se muestra, en la Fig. 4, estas funciones para la serie de Panamá donde además se estimó su periodograma.

Para la evaluación de los modelos ajustados se calculó, por medio de validación cruzada, el coeficiente de correlación entre los datos observados y los pronosticados para un tiempo  $t + 1$ . Estos coeficientes fueron: 0.84, 0.71, 0.81, 0.54 y 0.88 para las series de Pap, Pan, DTCR, Teh y Que, respectivamente. Se encontró una buena correlación entre todas las series y además todas ellas significativas al 95%, siendo la menor la de Tehuantepec (0.54) y la mayor para la serie de Quepos (0.88).

### DISCUSIÓN

Se concluye del sistema de ecuaciones cinco a nueve, que la principal influencia sobre la región del Pacífico Tropical Noreste la ejerce el ENOS con correlaciones positivas con uno o dos meses de retraso. Esto se debe principalmente a que la dinámica de la región está dominada por el paso de ondas ecuatoriales tipo Kelvin durante los eventos cálidos del ENOS (Trasviña *et al.* 1999), lo que provoca un hundimiento de la termoclina. Estas ondas ecuatoriales tienen asociados períodos entre 40 y 70 días, lo cual se reflejaría en las anomalías de los datos mensuales de TSM, no así las ondas mixtas tipo Rossby-gravitacionales con períodos asociados de una a dos semanas (Gill 1982), en donde el uso de valores mensuales actúa como un filtro. El paso de estas ondas ecuatoriales en las costas de América ha sido discutido no sólo para el hemisferio norte, sino también para el hemisferio sur (e.g. Spillane *et al.* 1987, Shaffer *et al.* 1997).

El efecto del ENOS domina incluso sobre la influencia que pudieran provocar las variaciones del Atlántico Tropical Norte, ya que no se encontró ninguna relación significativa con el ATN para rezagos distintos de cero, lo que sugiere en parte un forzamiento del ENOS sobre las regiones oceánicas adyacentes a Centroamérica, incluso sobre el ATN, para estos desfases temporales. Sin embargo se notó una influencia marginal del ATS con relaciones negativas para rezagos de cinco meses. Esta influencia del ATS podría explicarse debido a que, en ausencia de la influencia de un evento ENOS fuerte, los eventos fríos (cálidos) en del ATS estarían relacionados con un menor (mayor) gradiente meridional hacia el ecuador en la región del ATN. Lo anterior provocaría una menor (mayor) intensidad del flujo alisio, asociado a su vez con una menor (mayor) intensidad de la surgencia en la región, lo cual se reflejaría en anomalías positivas (negativas) de la TSM en el Pacífico Tropical Noreste.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo de los proyectos VI-112-99-305, VI-805-94-204 y VI-805-98-506 de la Universidad de Costa Rica. Se agradece a David Enfield, del AOML de la NOAA, por facilitar los datos de TSM dentro del marco del proyecto CRN-TC<sup>3</sup> del IAI y a Alejandro Gutiérrez por facilitar los datos de TSM de la estación de Quepos dentro del marco del proyecto SERMAR (UNA-IMN-UCR).

### RESUMEN

Con el fin de explorar la influencia de los océanos tropicales sobre las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) de la costa pacífica centroamericana, se ajustó un modelo de función de transferencia a las series de ATSM de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo, Panamá y Quepos, usando como variables independientes los índices Niño 3.4, Atlántico Tropical Norte y Sur. Estos modelos concluyeron que la principal influencia sobre la región, al compararla con los otros índices, la ejerce el índice Niño 3.4 pues mostró



correlaciones positivas con todas las series de ATSM, lo cual refleja una influencia de este índice sobre la profundidad relativa de la termoclina frente a la costa del Pacífico centroamericano.

### REFERENCIAS

- Alfaro, E. 2000. Eventos cálidos y fríos en el Atlántico Tropical Norte. *Atmósfera* 13: 109-119.
- Alfaro, E. & L. Cid. 1999. Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Atmósfera* 12: 205-222.
- Alfaro, E. & F. Soley. 2000a. Eventos cálidos y fríos en el Atlántico Tropical Sur. *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, San José, Costa Rica, en prensa.
- Alfaro, E. & F. Soley. 2000b. Ajuste de un modelo VAR como predictor de los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica. *Revista Matemática, Teoría y Aplicaciones*, San José, Costa Rica, en prensa.
- Anónimo. 1992. Box-Jenkins time series analysis p. 467-519. *In* BMDP Stat. Software, Ver. 7.0. Prentice Hall, San Francisco.
- Badan-Dangon, A. 1998. Coastal circulation from the Galápagos to the Gulf of California. p. 315-343. *In* Allan R. Robinson & Kenneth H. Brink (eds.). *The Sea*, Wiley, Nueva York.
- Box, G., G. Jenkins & G. Reinsel. 1994. Time series analysis: Forecasting and control. Prentice Hall, Nueva Jersey. 592 p.
- Clarke, A. 1988. Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo. *J. Geophys. Res.* 93: 15491-15501.
- Ebisuzaki, W. 1997. A method to estimate statistical significance of a correlation when the data are serially correlated. *J. Climate* 10: 2147-2153.
- Enfield, D. 1996. Relationships of inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geo. Res. Lett.* 23: 3305-3308.
- Enfield, D. & E. Alfaro. 1999. The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate* 12: 2093-2103.
- Gill, A. 1982. *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic, Nueva York. 661 p.
- Legeckis, R. 1988. Upwelling off the Gulfs of Panamá and Papagayo in the Tropical Pacific during March 1985. *J. Geophys. Res.* 93: 15485-15489.
- Lütkepohl, H. 1993. *Introduction to multiple time series analysis*. Springer, Nueva York. 263 p.
- Magaña, V., J. Amador & S. Medina. 1999. The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate* 12: 1577-1588.
- McCreary, J., H. Lee & D. Enfield. 1989. The response of the coastal ocean to strong offshore winds: With application to circulations in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo. *J. Mar. Res.* 47: 81-109.
- Müller-Karger, F. & C. Fuentes-Yaco. 2000. Characteristics of wind-generated rings in the eastern tropical Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 105: 1271-1284.
- Porting, W. 1976. The climate of Central America. p. 405-478. *In* W. Schweidtfeger (ed.). *World Survey of Climatology*, Vol. 12: *Climates of Central and South America*. Elsevier, Nueva York.
- Shaffer, G., O. Pizarro, L. Djurfeldt, S. Salinas & J. Rutllant. 1997. Circulation and low-frequency variability near the Chilean coast: Remotely forced fluctuations during the 1991-92 El Niño. *J. Phys. Oceanogr.* 27: 217-235.
- Smith, T. & R. Reynolds. 1998. A high-resolution global sea surface temperature climatology for the 1961-1990 base period. *J. Climate* 11: 3320-3323.
- Spillane, M., D. Enfield & J. Allen. 1987. Intraseasonal oscillations in sea level along the west coast of the Americas. *J. Phys. Oceanogr.* 17: 313-325.
- Trasviña, A., D. Lluch, A. Filonov & A. Gallegos. 1999. Oceanografía y El Niño. p. 69-101. *In* Víctor O. Magaña (ed.). *Los Impactos de El Niño en México*. UNAM, México.
- Trenberth, K. 1997. The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 78: 2771-2777.
- Umatani, S. & T. Yamagata. 1991. Response of the Eastern Tropical Pacific to meridional migration of the ITCZ: The generation of the Costa Rica Dome. *J. Phys. Oceanogr.* 21: 346-363.
- Uvo, C., C. Repelli, S. Zebiak & Y. Kushnir. 1998. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. *J. Climate* 11: 551-562.
- Vandaele, W. 1983. *Applied time series and Box-Jenkins models*. Academic, San Diego. 417 p.