

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA OCEÁNICA EN LA ÉPOCA LLUVIOSA DE LA COSTA ECUATORIANA

Howard F. Seidel ⁽¹⁾
 Isabel García-Arévalo ⁽²⁾
 Mariela González-Narváez ⁽²⁾
 Carlos Perugachi-Salamea ⁽²⁾

RESUMEN

El océano juega un papel importante en el transporte de energía en todo el planeta, el Ecuador recibe esa influencia especialmente en el régimen de precipitaciones del litoral, y es el que define la época seca y lluviosa. En el presente estudio se utilizaron los parámetros oceánicos temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico hasta 300 metros, datos asimilados provenientes de Simple Ocean Data Assimilation SODA 2.2.8, para determinar la influencia de los mismos en las precipitaciones presentes en las estaciones del perfil costero ecuatoriano. Los datos de precipitación fueron tomados de las estaciones de La Libertad, Manta, Esmeraldas y Puerto Bolívar. Se realizaron diagramas Hövmoller para evidenciar la evolución de las anomalías de los parámetros estudiados, seguido de un análisis de funciones ortogonales empíricas en el Pacífico ecuatorial con las que se identificaron modos o estructuras climáticas, entre los que se obtuvo una concordancia entre la ocurrencia de eventos ENOS en las variables en la primera componente temporal y en la segunda componente la identificación de los eventos del tipo del Pacífico Este. Por último se realizaron correlaciones cruzadas entre las primeras componentes temporales y la precipitación de las estaciones costeras INOCAR, identificando un mes de retardo de precipitación de las estaciones del Norte con respecto a la primera componente temporal de las variables estudiadas y un retardo nulo con las estaciones del Sur.

Palabras Claves: ENOS, temperatura superficial del mar, precipitación, contenido calórico, EOF

ABSTRACT

The ocean plays an important role in the transport of energy throughout the planet, especially Ecuador receives that influence in rainfall in the coast, and is what defines the dry and rainy season. In the present study oceanic parameters sea surface temperature, sea level, depth of the isotherm of 20 ° C and heat content up to 300 meters, assimilated data from Simple Ocean Data Assimilation SODA 2.2.8 to determine the influence thereof in rainfall stations present in the Ecuadorian coastal profile. Precipitation data were taken from the stations of La Libertad, Manta, Esmeraldas and Puerto Bolívar. Diagrams Hövmoller were performed to demonstrate the evolution of anomalies of the parameters studied, followed by an analysis of empirical orthogonal functions in the equatorial Pacific with which modes or climatic structures, including an agreement between the occurrence of events was obtained were identified ENSO in temporary variables in the first component and the second component identifying the type of events Eastern Pacific. Finally the first cross-temporal components and precipitation of Coast of Stations INOCAR, identifying a month of delay precipitation stations North with respect to the first temporal component of the variables and zero delay with correlations were performed stations from the South.

Keywords: ENSO, Sea surface temperature, precipitation, heat content, EOF

¹Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

¹Proyecto índices ENOS. Instituto Oceanográfico de la INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

INTRODUCCIÓN

La influencia oceánica sobre el clima en las costas ecuatorianas es más evidente durante los eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOS), debido a que es el determinante más importante de la variación en el campo de precipitación global (Dai et al 1997; Dai&wigley 2000). La importancia de la presente investigación radica en que para poder entender el clima globalmente se debe tener en cuenta el rol del océano en el establecimiento y mantenimiento del balance de calor global (Willis et al., 2004).

En el Pacífico Ecuatorial las oscilaciones de baja frecuencia juegan un papel crítico en el movimiento de la marea, en el ajuste del océano tropical al forzamiento del estrés del viento, y generando y manteniendo El Niño Oscilación del Sur (Wang, 2002). Las ondas Kelvin son las responsables de este transporte desde el Pacífico occidental hacia el oriental y a las mismas se le atribuye el origen de las condiciones anómalas propias de El Niño (Zambrano et al., 1986). Durante los eventos ENOS fuertes pasados la propagación de la onda ha generado incremento del nivel del mar e intensas anomalías de temperatura superficial del aire y del mar (Zambrano, 1986). Así como también se ha caracterizado por calentamiento subsuperficial, el mismo que produce niveles anómalos de profundización de las isotermas (Zambrano et al, 2000).

El contenido calórico global ha aumentado entre 1956-2003, incremento que domina el balance del calor en los últimos 50 años (Levitus et al., 2005). Este es un componente de la habilidad de almacenar y transportar calor del océano (Willis et al., 2004), por tanto el estudio de su variabilidad es vital para entender el rol del océano.

La retroalimentación de la respuesta de la

termoclina y estrés de viento a las anomalías de temperatura superficial del mar son procesos claves que afectan la dinámica de ENOS (McPhaden, 2003). Concentrándonos en estos procesos claves, se escogieron las variables oceanográficas temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico hasta 300 metros; para poder relacionarlas con la ocurrencia de eventos ENOS y con la precipitación en el litoral ecuatoriano.

Las variables estudiadas aportan información a nivel superficial y subsuperficial (en la columna de agua). La información oceánica subsuperficial contribuye potenciando la capacidad predictiva, pudiendo determinar el curso de un evento ENOS (McPhaden, 2003) debido a que las señales de calentamiento o enfriamiento del trópico están ampliamente confinadas sobre unos cuantos cientos de metros en la columna de agua (Willis et al., 2004).

Mediante el presente trabajo se pretende analizar la influencia oceánica a lo largo de la costa ecuatoriana, identificando las relaciones existentes entre los distintos parámetros oceánicos y la precipitación en el litoral ecuatoriano con el uso del análisis de funciones ortogonales empíricas para poder estudiar los posibles patrones espaciales de las variables de estudio y cómo estas cambian en el tiempo.

DATOS Y MÉTODOS

Para este análisis la data usada fue tomada del re-análisis del océano Simple Ocean Data Assimilation SODA, versión 2.2.8. La data de precipitación utilizada para los análisis que se presentarán posteriormente proviene de las estaciones fijas del Instituto Oceanográfico de la Armada, las mismas que se detallan en la Tabla 1 con sus ubicaciones geográficas:

Tabla 1 Ubicaciones geográficas de las estaciones costeras de monitoreo INOCAR

Estaciones Costeras			
Lugar	Provincia	Latitud	Longitud
Manta	Manabí	00°56'06" S	80°43'222W
Esmeraldas	Esmeraldas	00°59'00" N	79°39'00W
La Libertad	Guayas	02°12'58"S	80°43'22"W
Puerto Bolívar	El Oro	03°16'0"S	80°00 '00"W

Los parámetros oceanográficos utilizados son detallados en la Tabla 2 con sus respectivas nomenclaturas y unidades de medición:

Tabla 2 Parámetros, nomenclaturas y unidades de medición

Variable	Descripción	Unidad de medición
SST	Temperatura su perficial del mar	°C (grados centígrados)
PRCP	Precipitación	mm (milímetros)
Z20	Profundidad de Isoterma de 20°C	m (metros)
SSH	Nivel medio del mar	m (metros)
HC300	Contenido calórico en 300 m	10x10 ⁻⁹ Joules

Las anomalías se obtuvieron restando los valores del promedio mensual de los últimos 30 años (1981-2010).

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se utilizaron datos asimilados de la versión 2.2.8 de SODA para determinar la influencia oceánica en la costa ecuatoriana, para lo cual se realizaron diagramas Hovmöller, análisis de funciones ortogonales empíricas con las anomalías de las variables oceánicas (temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros y nivel medio del mar) y correlaciones cruzadas de las variables oceánicas con la precipitación en la costa, buscando enfatizar su relación con los eventos ENOS y su influencia en la precipitación en las estaciones costeras.

Las EOF (funciones ortogonales empíricas) se hallan computando los valores propios y vectores propios de una matriz de covarianzas de las anomalías ponderadas espacialmente. Los pesos espaciales son el coseno (latitud) o la raíz del coseno (latitud). Los valores propios derivados proveen la medida de porcentaje de explicación de la varianza de cada modo.

El campo es particionado en modos matemáticamente ortogonales que en muchos casos son interpretados como estructuras atmosféricas y oceanográficas (NCAR, 2013). Dos funciones son ortogonales cuando la suma (o integral) del producto sobre un definido espacio (o tiempo) es cero. Las EOF se determinan solo entre las posibles opciones limitadas en que las amplitudes de tiempo no están correlacionadas con la data muestreada.

Esto quiere decir que la variabilidad de tiempo no está correlacionada entre cada EOF (Emery& Thomson, 2004).

Las series de tiempo (componentes principales) se obtienen proyectando los vectores propios sobre las anomalías espaciales pesadas. Esto resulta en la amplitud de cada modo del periodo de estudio.

Los gráficos y análisis se realizaron con las herramientas de visualización y análisis Ferret y Matlab.

RESULTADOS

Evolución de la influencia oceánica entre 1981-2010

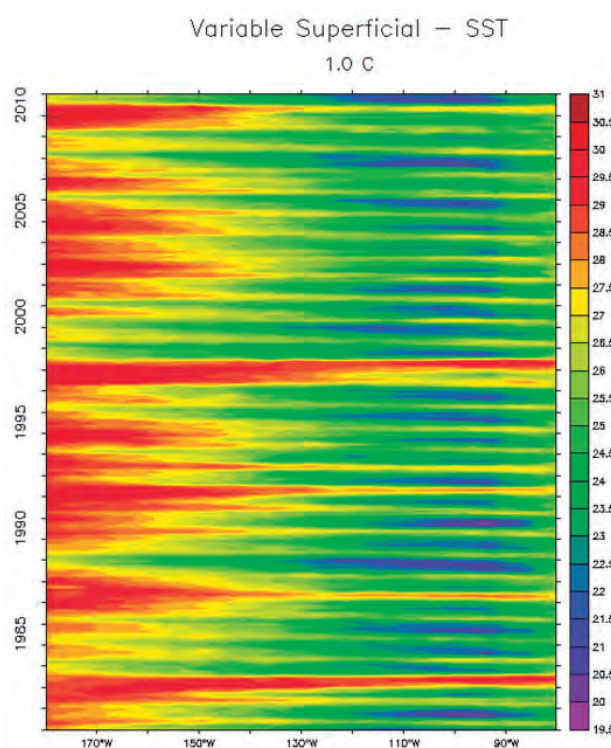
Para este análisis se emplearon las variables temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros y nivel medio del mar tomadas del reanálisis de SODA 2.2.8 y las anomalías de las mismas para realizar diagramas Hovmöller (longitud vs tiempo) con el fin de resaltar la propagación de la onda

Kelvin y enfatizar las anomalías presentes por la ocurrencia de eventos ENOS.

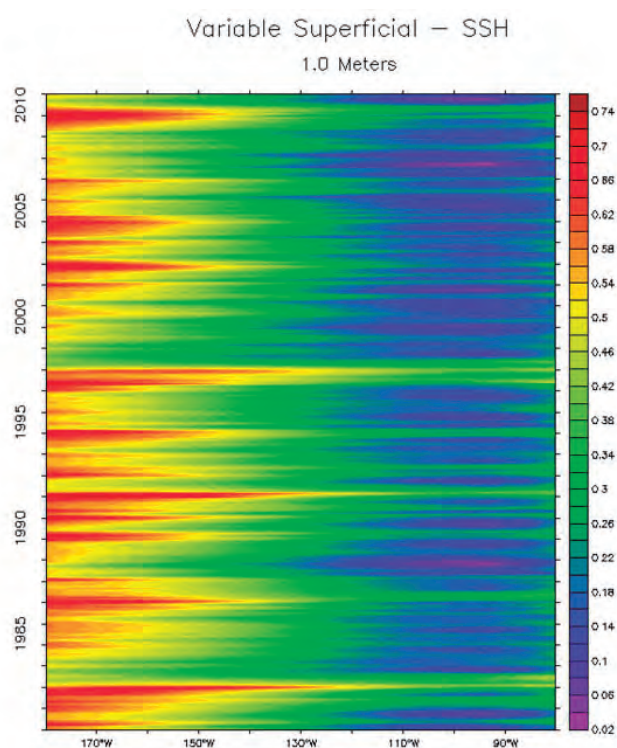
Cada una de las variables mencionadas registra valores anómalos en los años en que acontecieron eventos ENOS, sean estas condiciones cálidas o frías en el perfil costero.

La onda Kelvin se propaga en una dirección de oeste a este, se puede observar que entre las longitudes 180-80 W en la latitud ecuatorial es el momento en que la onda Kelvin atraviesa el Pacífico hasta llegar a nuestras costas y la manera en que varían las condiciones durante la ocurrencia de un evento ENOS.

Las variaciones más pronunciadas en los valores en el Pacífico Este, de las variables oceánicas analizadas coinciden con la ocurrencia y permanencia de los eventos ENOS asociados a la precipitación. En la figura 1 las variaciones más marcadas se encuentran en los periodos cálidos de 1982-1983y 1997-1998; y los periodos fríos de 1988-1989 y 2007-2008 en todas las variables.



a)



b)

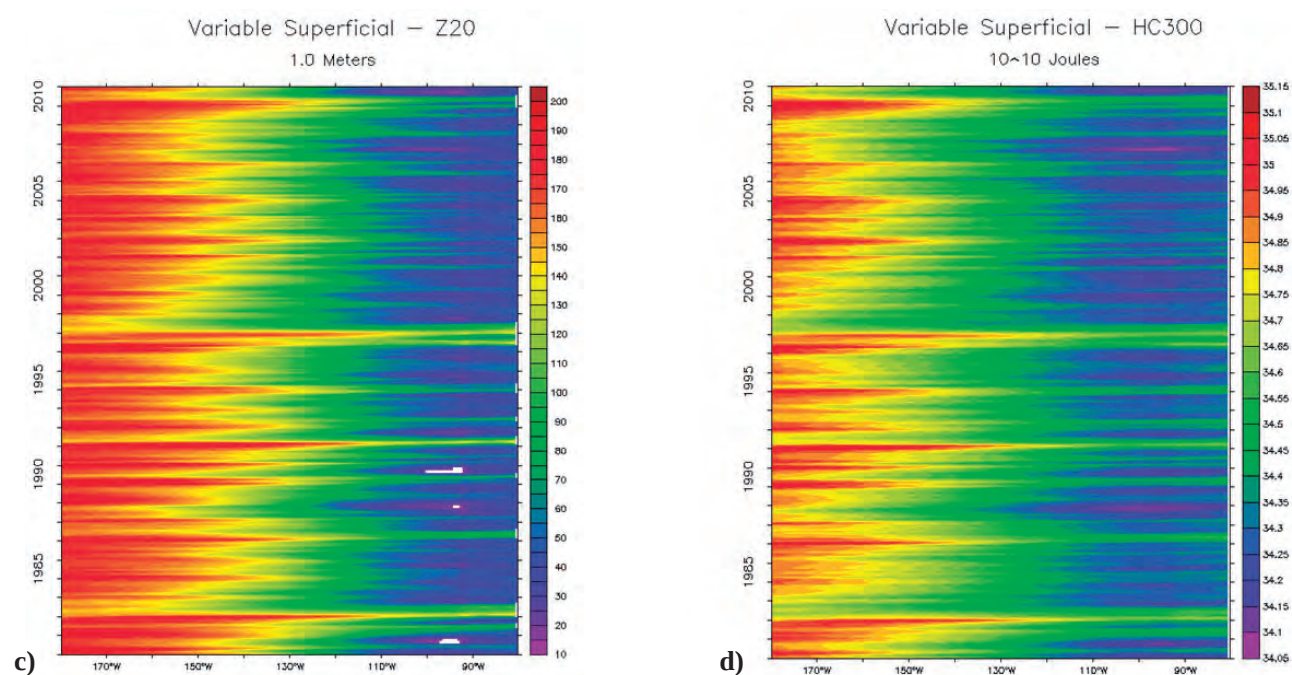


Figura 1 Evolución de las variables temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico a 300 m; en los últimos 30 años a lo largo del Océano Pacífico

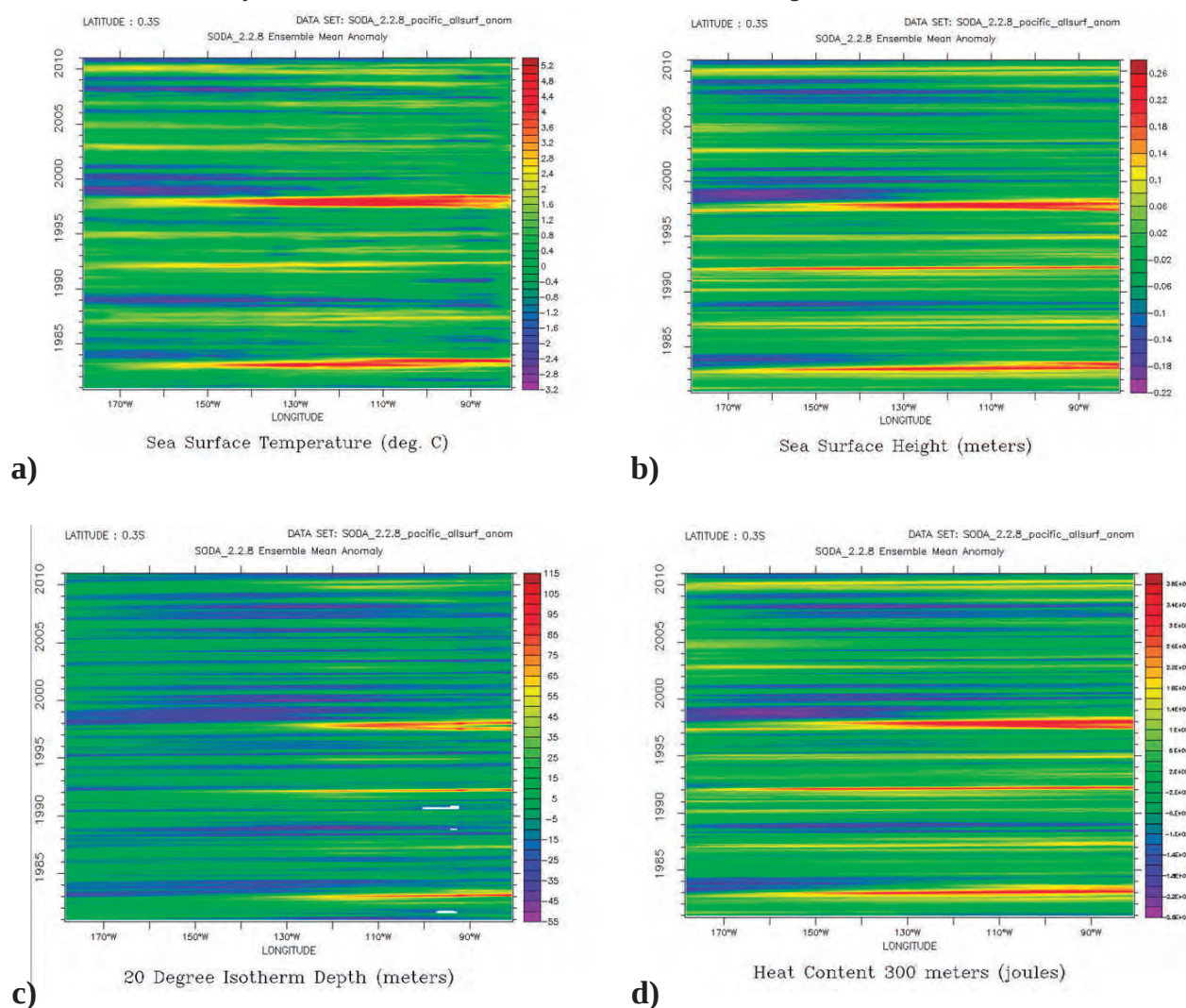


Figura 2. Evolución de las anomalías de las variables temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico a 300 m; en los últimos 30 años a lo largo del Océano Pacífico.

Con los diagramas realizados con el set de datos de las variables sin transformación es más clara la propagación de la onda Kelvin. De esta manera se resalta que el iniciador de las condiciones anómalas son las ondas periódicas que durante eventos ENOS llevan masas de agua cálida sub-superficial de oeste a este.

En la figura 2, el diagrama de las anomalías muestra claramente la variación interanual y se observa con más detalle la magnitud y permanencia de los eventos.

Desde el último evento fuerte de 1997-98 se puede observar que la ocurrencia de eventos cálidos ha disminuido y que la periodicidad de eventos cálidos y fríos no se puede distinguir con claridad, cambiando su ciclo normal de 2-7 años. Mostrándose un calentamiento debido a la profundización de la isoterma de 20°C acontecido únicamente hasta las Islas Galápagos.

A diferencia de los eventos cálidos, los eventos fríos parecen haber aumentado su frecuencia en los últimos 10 años, después del evento frío más fuerte y de mayor duración en 1999- 2001. Pese a que no se ha vuelto a presenciar un evento frío con las condiciones como las de 1999-2001.

ANÁLISIS DE FUNCIONES ORTOGONALES EMPÍRICAS

Se realizó el análisis de funciones ortogonales empíricas, EOF por sus siglas en inglés, de las anomalías mensuales de las variables temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros y nivel del mar. Para cada variable se tomaron la anomalías de la región 140W – 80W y 15N - 15S en el rango de años de 1981-2010.

Se utilizó dicho análisis para extraer las

variaciones coherentes que dominan en un grupo de series de tiempo. Los EOF generan índices de series temporales como típicas aplicaciones de un análisis de componentes principales. Este nuevo grupo de variables denominadas Componentes Principales resultan de la combinación lineal de las variables originales, con la particularidad que todas las componentes son ortogonales logrando así que no exista redundancia en la información en estos nuevos parámetros; obteniendo la descomposición de la señal en la región estudiada tomando en cuenta la serie temporal y los patrones espaciales de cada variable.

La Figura 3 a la izquierda, muestra la distribución EOF espacial y la EOF temporal de las primeras 3 componentes a la derecha.

Los gráficos de las componentes espaciales indican las zonas con mayor peso, aquellas donde existe la mayor variabilidad de anomalías de temperatura superficial del mar, la posición geográfica que describe el mayor porcentaje de varianza. Se puede observar que la serie de la primera EOF temporal señala los eventos ENOS ocurridos en los últimos 30 años. El gráfico de la segunda EOF temporal muestra el mayor peso en la región donde normalmente influye la corriente fría de Humboldt.

Las primeras dos EOF espaciales pueden identificarse como dos modos o estructuras climáticas diferentes. De tal manera que en la figura 5 se puede observar que superponiendo las series de la primera y segunda componente, la segunda componente muestra sus picos con diferente temporalidad a aquellos señalados en la EOF que abarca el Pacífico Central. Estas estructuras climáticas hacen referencia a los Eventos ENOS del Pacífico Central CP y a los Eventos ENOS del Pacífico Este (Ashok, 2007).

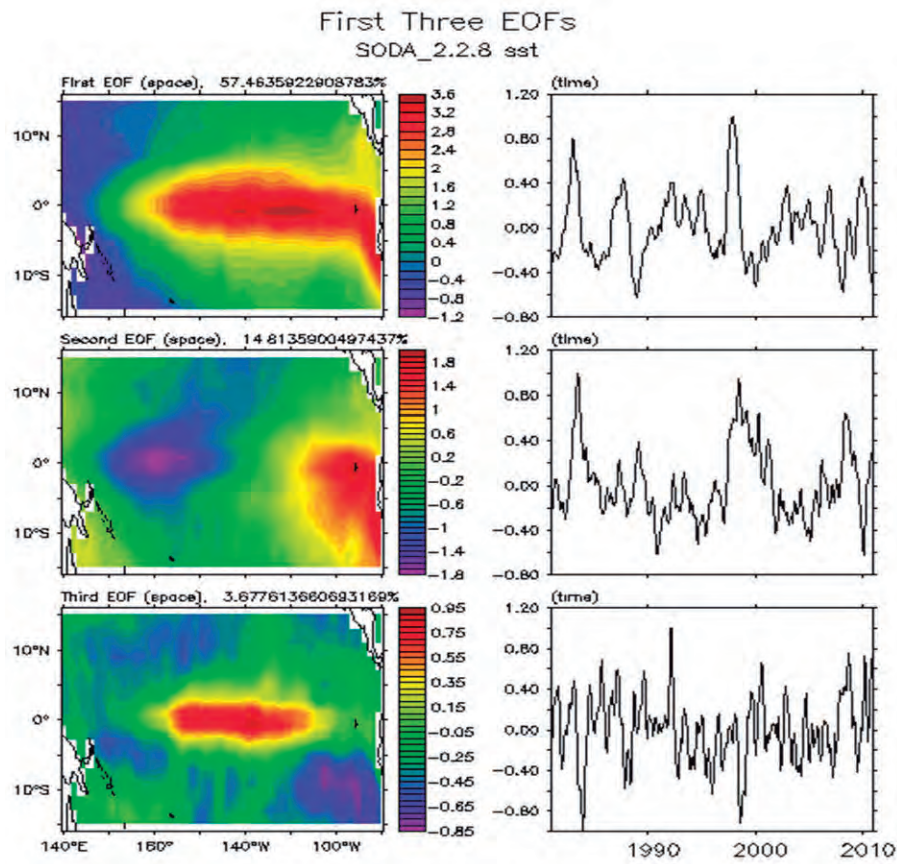


Figura 3. Funciones ortogonales empíricas de la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico

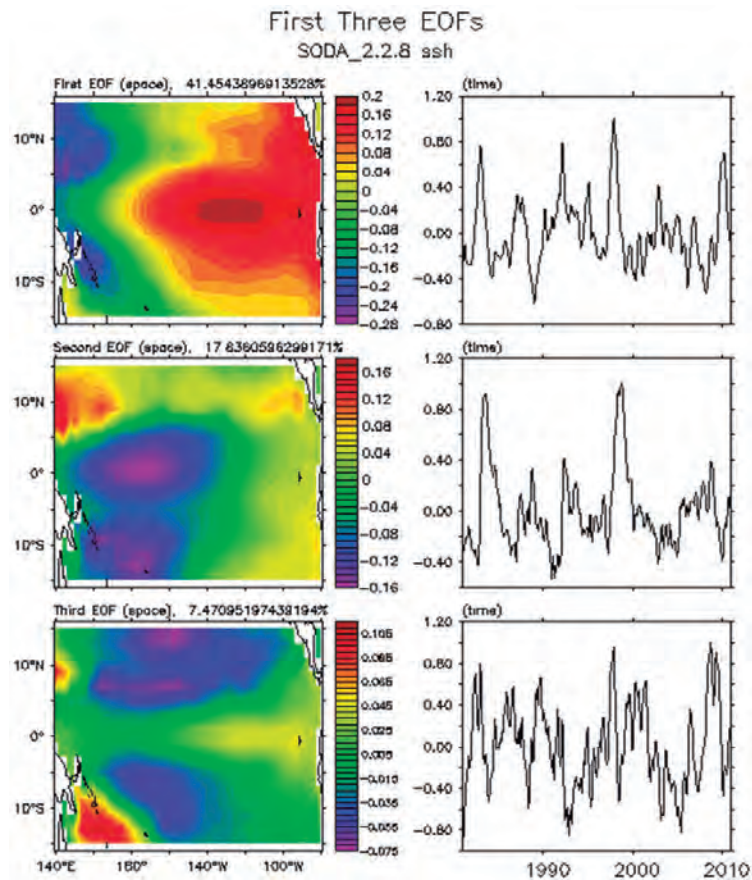


Figura 4. Funciones ortogonales empíricas del nivel medio del mar en el Océano Pacífico.

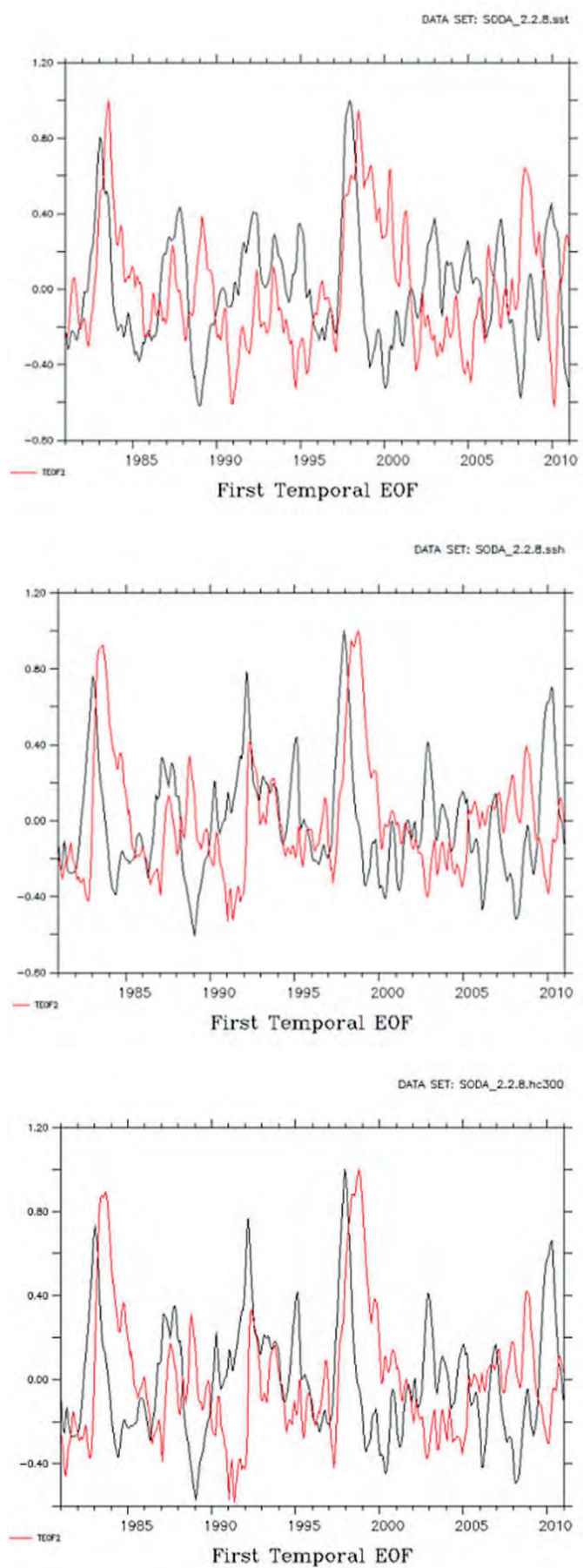


Figura5. Primera y segunda EOF temporal de temperatura superficial del mar, nivel del mar y contenido calórico a 300 metros.

La segunda estructura o modo climático nos puede dar un indicio de la permanencia y magnitud de las condiciones cálidas en el Pacífico Este.

La tercera EOF espacial concentra su mayor peso en la región Niño 3.4. Cuando las componentes no son rotadas la tercera EOF temporal mostró una tendencia positiva, la misma que puede indicar calentamiento en la zona de estudio. La suma de varianza de los tres primeros EOF es de 75.954, esto quiere decir que los 3 componentes incluidos en el modelo son capaces de explicar el 76 por 100 de la variabilidad total de los parámetros físicos analizados, lo que puede interpretarse como un porcentaje aceptable; considerando que se están analizando variables ambientales que son conocidas por no seguir un patrón establecido y que pueden ser afectadas por diversos factores, solo un 24 por 100 deja de ser explicado por las EOF y que es atribuido a la presencia de otros principios.

La Figura 4 muestra la distribución EOF espacial y EOF temporal de las primeras 3 componentes de las anomalías de nivel medio del mar. En el caso del nivel medio del mar el mayor peso de la primera EOF espacial se encuentra al Este del Pacífico concentrándose entre 140-90 Oeste. La segunda EOF espacial muestra su mayor peso en el Pacífico Norte, mientras que la tercera EOF espacial presenta su mayor peso en Sur de Australia. La suma de varianza de los tres primeros EOF es de 66.761, esto quiere decir que explica el 67% de la variabilidad total, porcentaje que aunque menor

que el del análisis EOF de la temperatura superficial del mar es considerado aceptable.

La Figura 6 muestra la distribución EOF espacial y EOF temporal de las primeras 3 componentes de las anomalías de contenido calórico a 300 metros. El mayor peso de la primera EOF espacial se encuentra al Este del Pacífico concentrándose entre 140-90 Oeste. La segunda EOF espacial muestra su mayor peso en el Pacífico Norte, mientras que la tercera EOF espacial presenta su mayor peso en el Norte y Sur de Australia, así como en el Pacífico ecuatorial en menor cantidad.

La tercera EOF espacial concentra su mayor peso en la región del Pacífico Central. Asimismo cuando las componentes no son rotadas la tercera EOF temporal muestra tendencia positiva, pese a que según Levitus et. al. (2007) no hay una tendencia asociada a la tercera EOF temporal en estudios en el Pacífico sobre contenido calórico y profundidad de la isoterma de 20°C.

La suma de varianza de los tres primeros EOF es capaz de explicar el 69 % de la variabilidad total, lo que puede interpretarse como un porcentaje aceptable. La mayor suma de varianza la obtenemos en la primera EOF espacial realizada con temperatura superficial del mar. Sin embargo, se puede observar que en las primeras EOF temporales de las variables analizadas se acoplan con diferencias mínimas, estando mejor acopladas las primeras componentes de nivel del mar y contenido calórico como se puede observar en la figura 7.

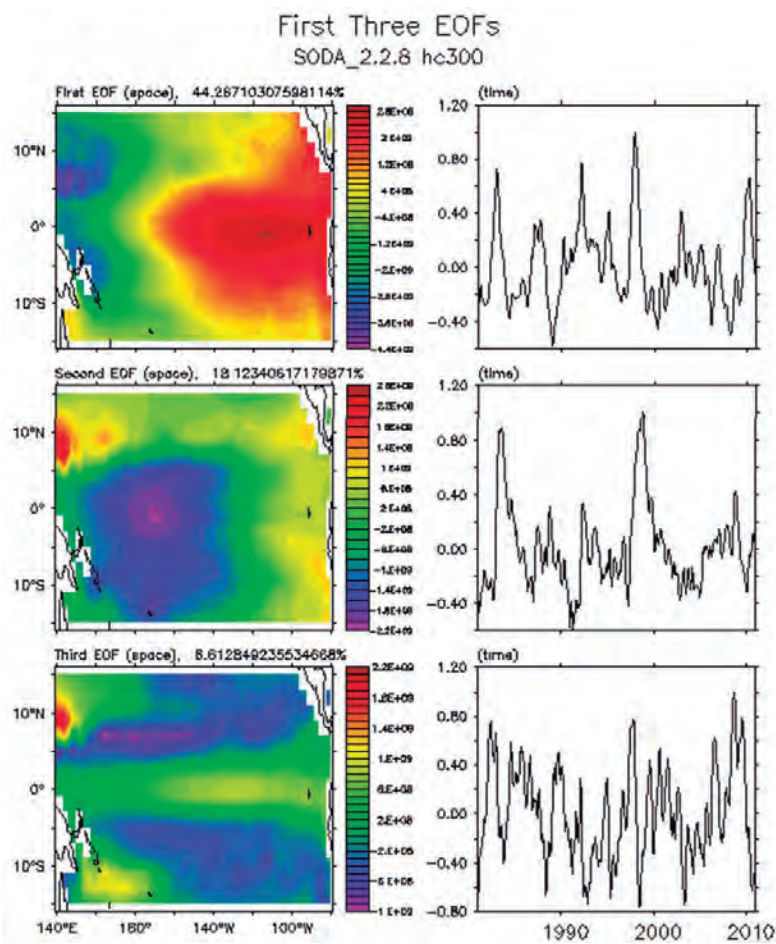


Figura 6. Funciones ortogonales empíricas de contenido calórico en el Océano Pacífico.

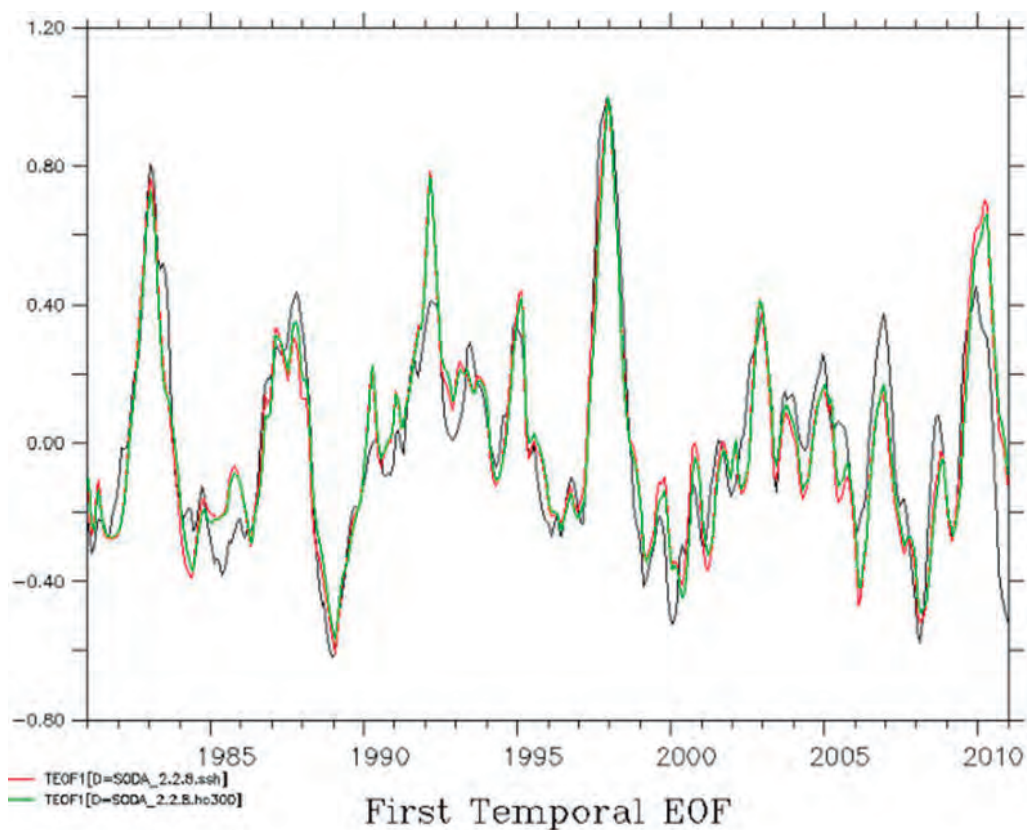


Figura 7. Primeras EOF temporales del análisis EOF realizado con SST, SSH y HC300

Las mismas que denotan los eventos ENOS claramente definidos por los picos positivos y negativos. Esto es posible debido a que las mismas están relacionadas de cierto modo, la temperatura superficial del mar forma parte del cálculo del contenido calórico, el mismo que está relacionado con la expansión térmica y que a su vez influye en la variabilidad del nivel del mar.

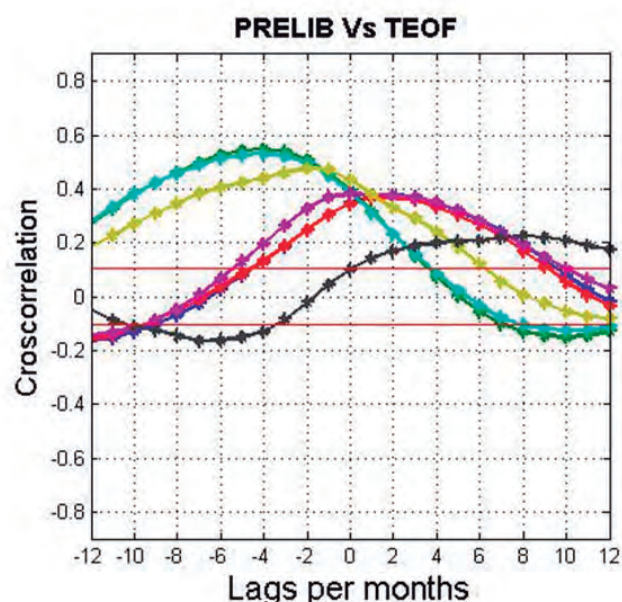
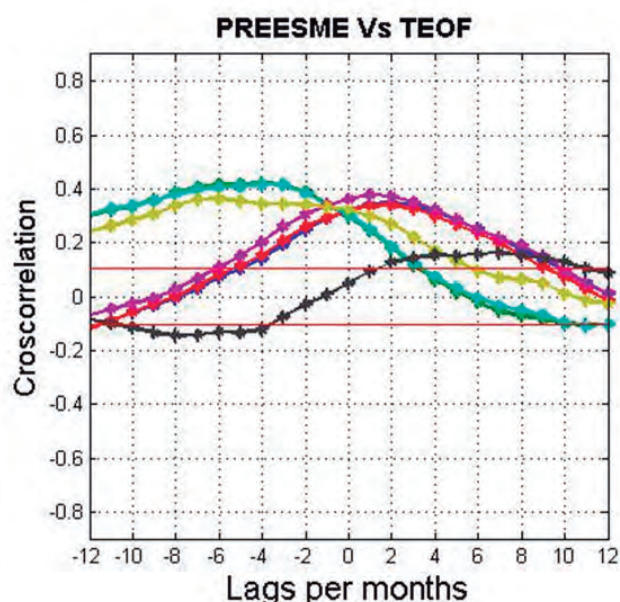
CORRELACIONES CRUZADAS ENTRE PRECIPITACIÓN Y LAS EOF TEMPORALES

Se realizaron correlaciones cruzadas entre las anomalías de las precipitaciones de las estaciones costeras en las localidades de Esmeraldas, Libertad, Manta, Puerto Bolívar y Puerto Ayora; las mismas en las que se encontraron correlaciones significativas presentando retardos en algunas estaciones, como se muestra en la figura 8.

En relación al análisis EOF realizado con la temperatura superficial del mar se obtuvo que la precipitación de Esmeraldas está retardada 1 mes con respecto a la primera EOF temporal con un coeficiente cercano a 0.4. La

precipitación de Manta está retardada 1 mes con respecto a la primera EOF temporal con un coeficiente cercano a 0.4. La precipitación de La Libertad y Puerto Bolívar no presentan retardo con respecto a la primera EOF temporal, mostrando un coeficiente cercano a 0.4. La precipitación de Puerto Ayora está adelantada 1 mes con respecto a la primera EOF temporal con un coeficiente cercano a 0.5.

En vista de que en la distribución espacial de la EOF de la temperatura superficial del mar de la segunda componente denotaba la mayor variabilidad en la zona de la corriente de Humboldt se realizaron correlaciones cruzadas entre la segunda componente y la precipitación en las estaciones costeras. La correlación cruzada entre la segunda EOF temporal muestra que la precipitación en Esmeraldas está adelantada 6 meses a esta, la precipitación en La Libertad y Manta están adelantadas dos meses con respecto a la segunda EOF temporal, la correlación es de casi 0.5. La precipitación en Puerto Ayora está adelantada tres meses con respecto a la segunda EOF temporal, con coeficiente cercano a 0.4. La correlación cruzada muestra que la precipitación en Puerto Bolívar está adelantada dos meses con respecto a la segunda EOF temporal.



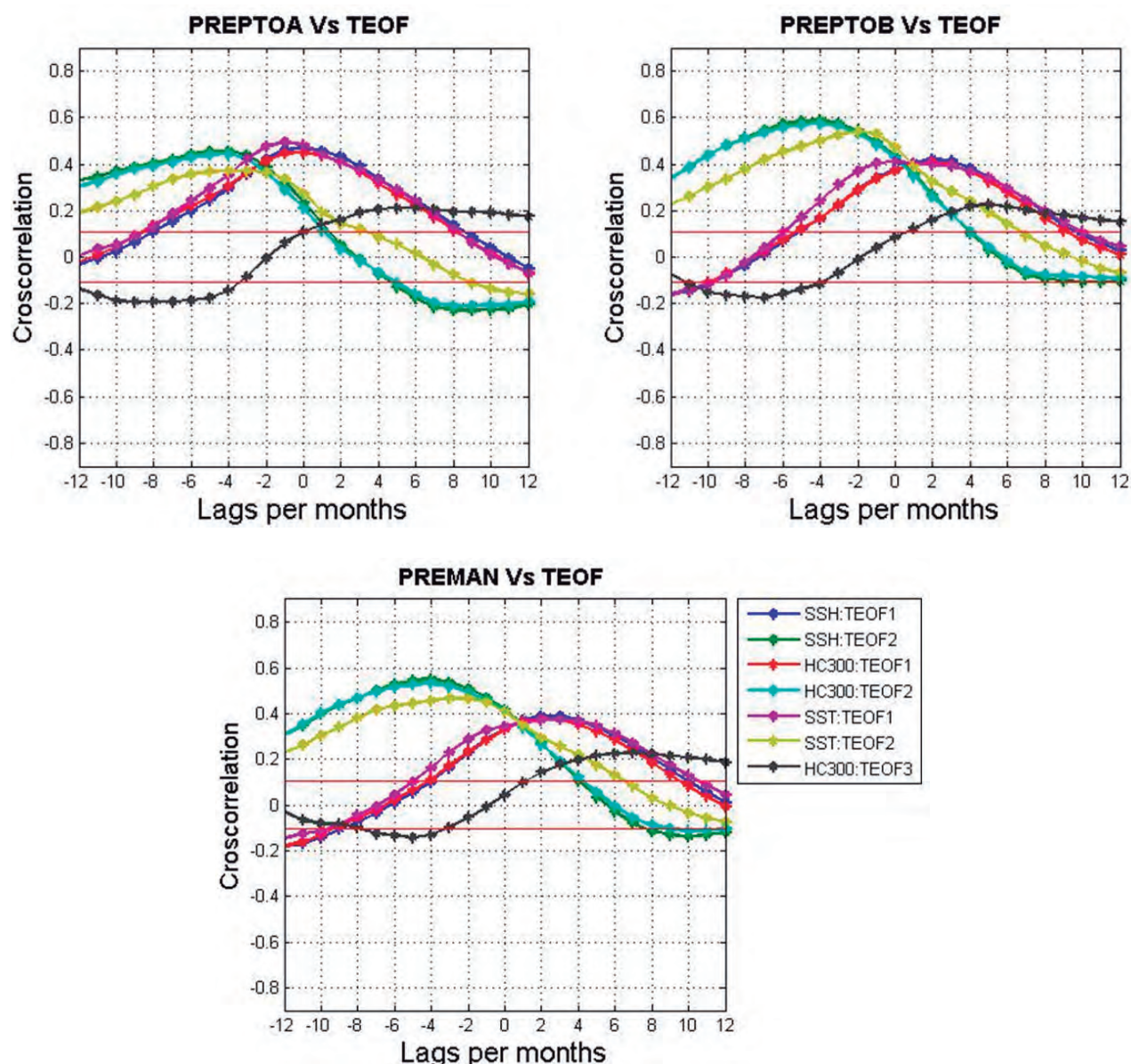


Figura 8 Correlación cruzada entre la precipitación de las estaciones Esmeraldas, Manta, La Libertad, Puerto Bolívar y Puerto Ayora con las EOF de SST, SSH y HC300.

Se observó que existe una correlación cercana a 0.6 y los máximos picos de precipitación se dan aproximadamente seis meses después de los picos de la segunda componente en Esmeraldas, dos meses en Libertad, Manta y Puerto Bolívar; y tres meses en Puerto Ayora.

En otras palabras, para la estación de Libertad y Puerto Bolívar cuando la primera EOF temporal presenta valores altos, simultáneamente la precipitación mostrará sus valores altos y dos meses antes la segunda EOF temporal mostró sus picos.

Sin embargo, para la estación de Esmeraldas cuando la primera EOF temporal (TEOF1) presenta valores altos un mes después la precipitación mostrará sus valores altos y seis meses después la segunda EOF temporal evidenciará sus máximos picos. Esta relación nos indica que los picos de la segunda EOF temporal coinciden con el tiempo en que las condiciones frías en el Pacífico Este prevalecen y como la corriente fría de Humboldt condiciona las estaciones del Sur y del Norte.

La tercera EOF temporal mostró correlaciones bajas pese a que se encontraron por encima de

las bandas límites del ± 0.1 a partir de las cuales son significativos los retardos. Con Esmeraldas la correlación estuvo próxima a 0.2, Libertad con 0.25, Manta cercano a 0.2, Puerto Ayora con 0.2 y Puerto Bolívar cercano a 0.25.

En cuanto a la primera EOF temporal de contenido calórico a 300 m se obtuvo que la precipitación de Esmeraldas, Manta, La

Libertad y Puerto Bolívar está retardada 2 mes con respecto a la primera EOF. Mientras que Puerto Ayora no presenta retardo con respecto a la primera EOF temporal.

Los mismos retardos se presentan con la primera EOF temporal de contenido nivel medio del mar.

Tabla 3 Coeficientes de correlación cruzada de los índices Niño regionales con la primeray segunda EOF temporal de SST, SSH y HC300.

	TEOF1 TSM		TEOF1 NMM		TEOF1 HC300		TEOF2 TSM		TEOF2 NMM		TEOF2 HC300	
	ρ	lag	ρ	lag	ρ	lag	ρ	lag	ρ	lag	ρ	lag
N 1+2	0,8	1	0,65	0	0,65	1	0,3	4	0,6	0	0,6	6
N 3	0,9	1	0,85	1	0,85	1	0,35	2	0,5	9	0,42	9
N 3.4	0,9	1	0,83	1	0,83	1	0,3	2	0,8	1	0,3	9
N 4	0,8	1	0,8	1	0,75	1	0,2	2	0,7	1	0,1	12

Como se indica en la tabla 3 las correlaciones entre los índices de las regiones Niño y la primera componente EOF temporal de los análisis con cada variable. Todas muestran correlaciones altas y todas con excepción del Niño 1+2 presentan un adelanto del índice de la región Niño con respecto a la primera componente.

A pesar de que nos referimos a la fase cálida “El Niño” es importante considerar que estos eventos cálidos desencadenan variabilidad en posición y magnitud (Giese & Ray, 2011). Cuando se habla de magnitud se puede resaltar que Yu & Kao (2009) postularon que puede haber 2 tipos de ENOS, uno tipo EP en el Pacífico Este, en el cual el mecanismo de generación involucra variaciones en la termoclina a lo largo del pacifico ecuatorial y el segundo tipo centro pacifico CP que se localiza en el pacifico tropical central y cuyo desarrollo no es sensible a las variaciones de la termoclina. Mcphaden et. al.(2011) mostraron en un estudio

que en los últimos 31 años hay eventos ENOS de tipo CP más frecuentes que EP, que los vientos alisios se han fortalecido y que la termoclina se ha desnivelado más rápidamente hacia abajo al oeste en el Pacífico Tropical. De ahí la importancia de determinar qué tipo de evento es el que está más relacionado con los impactos en el Litoral ecuatoriano y más específicamente el área del océano Pacífico en que la temperatura incide en las precipitaciones del Litoral.

CONCLUSIONES

Se utilizó datos asimilados de la versión 2.2.8 de SODA para determinar la influencia oceánica en la costa ecuatoriana, para lo cual se buscó enfatizar las anomalías en la costa ecuatoriana de las variables en cuestión durante los eventos ENOS y su influencia en la precipitación en las estaciones costeras.

Para el análisis se verificó el comportamiento de

las variables oceánicas: temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros, profundidad de la isoterma de 20°C y nivel medio del mar y sus respectivas anomalías, las mismas que se relacionan o muestran señales durante los eventos ENOS; a través de la interpretación de diagramas Hovmöller, análisis de funciones ortogonales empíricas y correlaciones cruzadas.

Con los diagramas Hovmöller se pudo observar que las anomalías más fuertes se dan durante los eventos ENOS cálidos El Niño y se muestra claramente la propagación de la onda Kelvin, dicha condición se cumple para cada variable analizada.

Con el análisis EOF se obtuvo resultados que evidencian que en las tres variables la primera componente muestra los eventos ENOS, la segunda los eventos fríos, y la tercera la tendencia de la serie temporal. La correlación cruzada indicó que las precipitaciones de las estaciones costeras están retardadas de dos a tres meses a excepción de Puerto Ayora que se encuentra adelantada en unos casos y sin retardos en otros.

Estos nuevos acercamientos tienen el potencial de mejorar la representación de ENOS y enfatizan la importancia de un monitoreo subsuperficial de las condiciones oceanográficas en el Pacífico Central. (considero que el aporte más importante es que nos permiten comprender de mejor manera las afectaciones de los eventos ENOS en el Pacífico Este al cuantificar la correlación entre las variables medidas y los valores entregados por SODA).

REFERENCIAS

Belmadani, A. & Dewitte, B. (2010) ENSO feedbacks and associated time scales of variability in a multimodel ensemble. *American Meteorological Society*, 23, 3181-3204, doi: 10.1175/2010JCLI2830.1

Chang, P., Zhang, L., Saravanan, R., Vimont, D., Chiang, J., Ji, L., Seidel, H. & Tippet, M.

(2007) Pacific meridional mode and El Niño-Southern Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 34, L16608, doi:10.1029/2007GL030302

Clement, A., Dinezio, P. & Deser, C. (2011) Rethinking the ocean's role in the southern oscillation. *Journal of climate*, 24, 4056-4072.

Dai, A. & Wigley, M. I. (2000) Global patterns of ENSO-induced precipitation. *Geophysical research letters*, 27, 9, 1283-1286.

Dai, A., Fung, I. & Del Genio, A. (1997) Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988. *Journal of climate*, 10, 2943-2962.

Emery, W. J. & Thomson, R. E. (2004) *Data analysis methods for physical oceanography*. Chapter 4. Elsevier. London.

Fedorov, A. V. & Philander, S. G. (2000) Is El Niño changing? *Science*, 288, 1997-2002, doi:10.1126/science.288.5473.1997
Hsung-Ying, K. & Jin-Yi, Y. (2009) Contrasting Central Pacific Types of ENSO. *American Meteorological Society*, 22, 615-632.

Kessler, W. S. (2001) EOF Representations of the Madden-Julian Oscillation and its connection with ENSO. *Journal of climate*, 14, 3055-3061.

Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Garcia, H. E. & Locarnini. (2005) EOF analysis of upper ocean heat content, 1956-2003. *Geophysical Research Letters*, 32, L18607 doi:10.1029/2005GL023606

National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Última modificación 22 Jul 2013. "The Climate Data Guide: Empirical Orthogonal

Function (EOF) Analysis and Rotated EOF Analysis. Tomado de <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data-tools-and-analysis/empirical-orthogonal-function-eof-analysis-and-rotated-eof-analysis>

Wang, B. (2002) Kelvin waves. Elsevier doi:10.1006/rwas.2002.0191

Hernández, F. & Zambrano, E. (2009) Relación entre la temperatura superficial del mar del océano Pacífico Oriental y las precipitaciones en la costa del Ecuador. Acta oceanográfica, vol. 15 N° 1.

Kao, H. & Yu, J. (2009) Contrasting Eastern Pacific and Central Pacific Types of ENSO. American Meteorological Society, 22, 615- 632. doi: 10.1175/2008JCLI2309.1

McPhaden, M. J., Lee, T. & McClurg, D. (2011) El Niño and its relationship to changing background conditions in the tropical Pacific Ocean. Geophysical research letters, 38, L15709.

Moreano, H., Zambrano, E., Suescum, R. &

Paredes N. (1986) El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Philander, S. G. (1990), El Niño, La Niña, and the Douthern Oscillation, 189 pp., Academic Press, London.

Trenberth, K. & Stepaniak, D. (2001) Indices of El Niño evolution. Journal of climate, 14, 1697-1701.

Zambrano, E. (1986) El fenómeno del Niño y la oscilación del Sur. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Zambrano, E., Martínez, G. & Garcés-Vargas, J. (2000) Variabilidad oceanográfica en Ecuador asociada con el evento ENSO 1997-98. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 10 N° 1.

Willis, J. K. Roemmich, D. & Cornuelle, B. (2004) Interannual variability in upper heat content, temperature, and thermocline expansion on global scales. Journal of geophysical research, vol. 109.

