

LA RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN EN ECUADOR Y LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN EL OCÉANO PACÍFICO

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

RESUMEN

En este estudio se analiza la relación temporal y espacial de la precipitación en Ecuador con la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico adyacente a la costa del Ecuador. Esta relación es más evidente durante la fase cálida de El Niño- Oscilación del Sur (ENOS) cuando el calentamiento en el Pacífico Este tropical está asociado con el incremento de la precipitación en la región costera de Sudamérica. Esta región incorpora la región costa de Ecuador y el norte de Perú. A pesar de que los eventos cálidos están asociados al incremento de precipitación, la magnitud de este incremento varía; mientras que la asociación con eventos fríos es variable. En ambos casos la variabilidad no puede ser fácilmente explicada con los índices típicamente utilizados para medir la intensidad de ENOS. Se realiza un análisis detallado de la temperatura superficial del mar en un modelo oceánico global incorporando datos asimilados y precipitación de los periodos 1950-2010 y 1981-2010. El presente estudio ayuda a determinar las regiones espaciales en el Pacífico donde el calentamiento genera el mayor impacto en la precipitación y en las zonas costeras que se ven más afectadas por la variabilidad de la precipitación.

Palabras Claves: ENOS, temperatura superficial del mar, precipitación

ABSTRACT

In this study we analyze the temporal and spatial relationship of precipitation in Ecuador and the sea surface temperature (SST) in the Pacific Ocean adjacent to the coast of Ecuador. This relation is most evident during the warm phase of El Niño – Southern Oscillation (ENSO) when warming in the eastern tropical Pacific is associated with increased rainfall in the Pacific coastal regions of South America. This region incorporates the entire coastal region of Ecuador and the northern coastal region of Peru. Although all warm events are associated with increased precipitation in the region, the magnitude of this increase varies greatly. The decreased precipitation associated with the cold events is also variable. In both cases this variability cannot be easily explained using the indices typically used to measure the strength of ENSO. We make a detailed analysis of SST in a global ocean model incorporating data assimilation and precipitation observations for the periods from 1950-2010 and 1981-2010. This study helps to determine the spatial regions in the Pacific where warming has the greatest impact on precipitation and the coastal regions of Ecuador that are most affected by this variability in precipitation.

Keywords: ENSO, Sea surface temperature, precipitation

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

Muchos estudios han demostrado la relación de la precipitación con los eventos El Niño Oscilación del Sur. El Niño Oscilación del Sur comprende dos manifestaciones diferentes del tipo más largo de variabilidad climática interanual en el planeta (Philander, 1990). El Niño es el componente oceánico de ENOS mientras que la Oscilación del Sur es el componente atmosférico. El componente oceánico posee una fase cálida, El Niño, y una fase fría, La Niña.

Los eventos cálidos usualmente se dan cada 2 a 7 años. En los eventos cálidos fuertes, la relación entre la precipitación y la componente oceánica resulta más evidente. La precipitación asociada a eventos ENOS está relacionada con cambios en la circulación atmosférica que a su vez es causada por anomalías en la temperatura superficial del mar y en los vientos tropicales (Dai&Wigley, 2000). Dicho de otro modo la temperatura superficial del mar influye en el incremento y la disminución de precipitación durante los eventos El Niño y La Niña respectivamente.

Ejemplo de aquello se dio en el evento de 1982-83, en el cual el desplazamiento hacia el Sur de la Zona de Convergencia Intertropical se produjo luego de una rápida intrusión de aguas cálidas en la costa ecuatoriana. En dicho evento las anomalías de temperatura superficial del mar formaron una banda entre los meridianos 95 y 140W en el Pacífico Ecuatorial desde octubre del 82 (Zambrano, 1986). De la misma manera el evento de 1997-98 estuvo influenciado por el calentamiento superficial con niveles anómalos positivos de temperatura superficial del mar (Zambrano et al, 2000). Así mismo Hernández & Zambrano (2009) identificaron una correlación directa entre la temperatura superficial del mar de las estaciones costeras y la precipitación en la costa del Ecuador, obteniendo índices de correlación entre 0.5 y 0.85 en 7 estaciones costeras del INOCAR.

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 Kao&Yu (2009) postularon que puede haber 2 tipos de ENOS, uno tipo EP en el Pacífico Este y el segundo tipo centro pacifico CP que se localiza en el Pacífico Tropical Central. Mcphaden et al .(2011) señalan que en los últimos 31 años hay eventos ENOS de tipo CP más frecuentes que EP. De ahí la importancia de determinar qué tipo de eventos 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.

Por otro lado, la magnitud del evento dependerá de la permanencia de las condiciones, las mismas que se verán afectadas por el momento en que se desencadena el evento. De ahí yace la importancia de buscar una metodología que contribuya en definir la ocurrencia y magnitud de los eventos ENOS relacionados con la precipitación en el litoral ecuatoriano. Mediante el presente trabajo se pretende analizar la relación espacio temporal entre la temperatura superficial del mar y la precipitación en la costa ecuatoriana y la interacción de las mismas durante eventos cálidos como El Niño y fríos como La Niña.

DATOS Y MÉTODOS

Para este análisis la data usada fue tomada del Simple Ocean Data Assimilation SODA, versión 2.2.8. La data de precipitación utilizada para los análisis que se presentarán posteriormente proviene de la base de datos global WRCP GCOS GPCC, versión sexta y de las estaciones costeras del Instituto Oceanográfico de la Armada, las mismas que se detallan en la Tabla 1 con sus respectivas ubicaciones geográficas:

Tabla 1 Ubicaciones geográficas de las estaciones costeras de monitoreo INOCAR

ESTACIONES COSTERAS			
LUGAR	PROVINCIA	LATITUD	LONGITUD
MANTA	MANABI	00°56'06" S	80°43'22W
ESMERALDAS	ESMERALDAS	00°59'00" N	79°39'00W
LA LIBERTAD	SANTA ELENA	02°12'58"S	80°43'22"W
PUERTO BOLIVAR	EL ORO	03°16'0"S	80°00'00"W

Los parámetros utilizados para los análisis efectuados y que provienen de SODA 2.2.8 son temperatura superficial del mar y anomalías de temperatura superficial del mar. Adicionalmente se utilizaron los índices globales de ATSM de las regiones: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4, con datos asimilados de SODA.

Para determinar la relación entre la precipitación y la temperatura superficial del mar en primer lugar se identificaron las correlaciones entre la temperatura superficial del mar de los datos asimilados SODA 2.2.8 con la precipitación de las estaciones costeras. Así también se determinó la correlación de la precipitación en el continente de la WRCP GCOS GPCC y los índices globales.

Se analizaron dos eventos fríos y cálidos de los últimos 30 años y su relación con la precipitación.

Además de los índices Niño regionales se utilizó las series de amplitud y longitud del Índice centro de calor. El índice centro del calor CHI y centro de enfriamiento CCI se basa en la ubicación de las anomalías de temperatura superficial superiores e inferiores a 0.5°C en una banda que atraviesa el Pacífico Tropical (120E-70W: 5N-5S) del tamaño de la región Niño 3.4.

El índice nos muestra el centro de la

temperatura pesada, en términos de longitud, del área en que la anomalía existe únicamente si el área es mayor o igual a la región Niño 3.4. Este índice posee 3 componentes: longitud, área y amplitud.

$$\text{CHI amplitud} = \frac{\sum sst_anom \times area}{\sum area}$$

La metodología propuesta por Carton&Giese (2011) fue modificada para el desarrollo de un índice basado en un área para la identificación de los eventos ENOS que han estado correlacionados con la precipitación en los últimos 30 años. Con el fin de demostrar que la temperatura superficial de determinada área influye en las precipitaciones presentes en la costa ecuatoriana.

Los gráficos y análisis se realizaron empleando la herramienta de visualización, análisis Ferret y el software Matlab.

RESULTADOS

El re-análisis de datos asimilados SODA 2.2.8 es utilizado para explorar la relación entre la precipitación y la temperatura superficial del mar, utilizando como herramienta principal la correlación sea esta simple o cruzada.

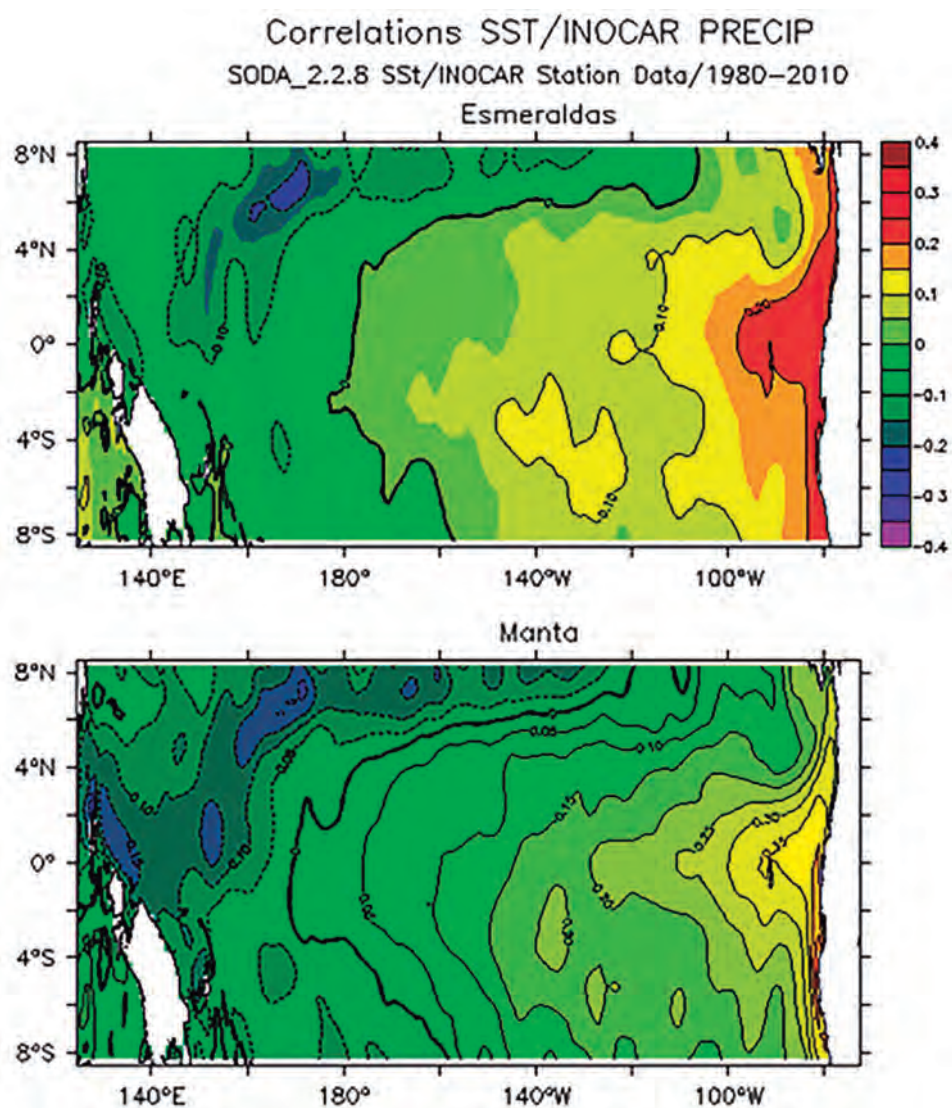


Figura 1 Correlación de la temperatura superficial del mar de SODA 2.2.8 y la precipitación de Esmeraldas y Manta

Se determinó que las correlaciones entre la temperatura superficial del mar son mayores para la estación de Esmeraldas, mostrando valores de hasta 0.4 de correlación. Esto puede estar relacionado con la precipitación más constante en la estación del norte del litoral el cual recibe un mayor aporte de la zona de convergencia intertropical. Además según Perugachi et al. (2014) la frecuencia de la mayor proporción de varianza de la precipitación en Esmeraldas coincidió con los índices Niño regionales por lo que es clara la influencia de los procesos oceánicos de variabilidad interanual en su serie de datos. Manta por otro lado presenta menor precipitación acumulada y una estacionalidad más marcada por lo que la

variabilidad interanual puede no ser determinante en la magnitud de las precipitaciones lo que explicaría el coeficiente de correlación inferior al presentado en Esmeraldas.

En la figura 2 se encuentran graficadas las correlaciones de las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 y la precipitación en el continente, siendo estos dos índices los que linealmente mayor coeficiente presentaron con las estaciones meteorológicas. El índice de la región Niño 1+2 presenta mayores correlaciones en todo el perfil costero en comparación con Niño 3.4, llegando a tener una correlación de hasta 0.6.

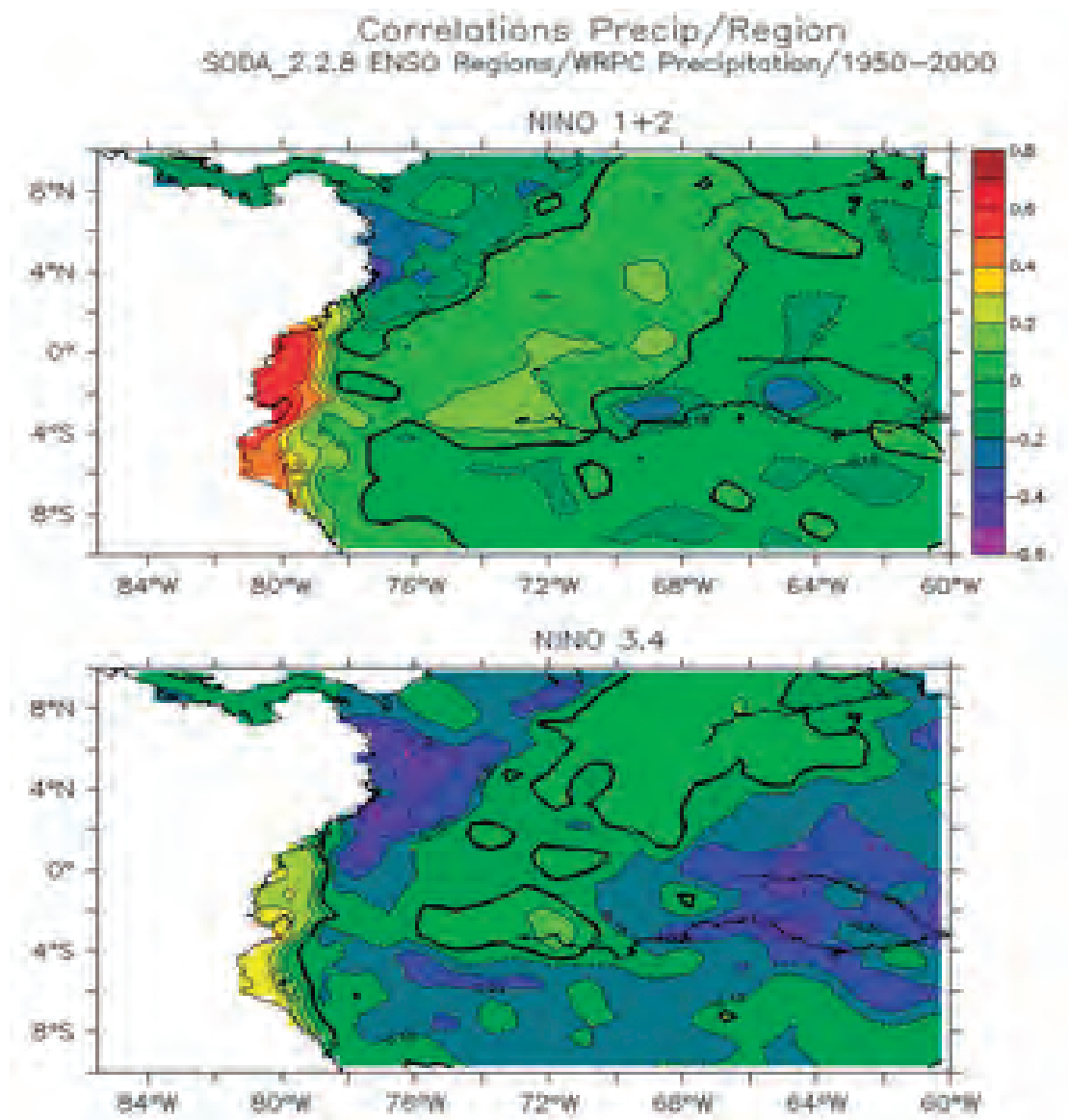


Figura 2. Correlaciones entre la precipitación en el continente WRPC y los índices Niño 1+2 y Niño 3.4

Este hallazgo respalda que mientras más cercana sea la región con la que se compare la temperatura superficial del mar, mayor será su correlación. Cabe recalcar que la serie de datos que se toma es de 1950 al 2000 y no incluye los 10 últimos años, lo que hace que incremente la correlación entre estas dos variables. Esto se debe a que en los últimos 10 años no se han dado eventos ENOS cálidos fuertes.

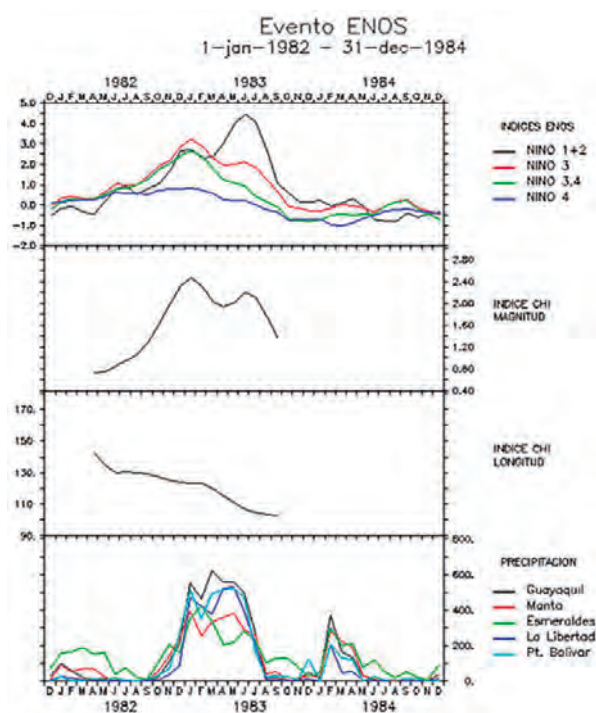
Para analizar la temporalidad de la precipitación y la temperatura superficial del mar se realizaron gráficas de las series de las anomalías de las regiones Niño 4 Niño 3 Niño 3.4 y Niño 1+2, junto con la magnitud y longitud del índice

CHI centro de calor y CCI centro de enfriamiento, simultáneamente con la precipitación en las estaciones costeras en dos tipos de eventos categorizados como cálidos y otros dos de tipo frío declarados por el ONI.

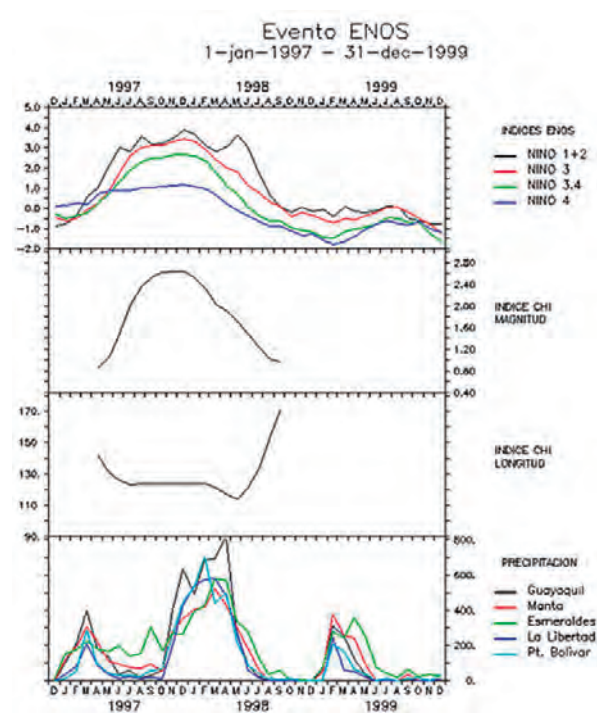
En la figura 3 literal a) podemos observar que la magnitud del índice CHI coincide con el inicio y final del evento Niño cálido de 1982-1983, así como el índice Niño de la región 1+2 que muestra dos picos que permanecen durante más meses que la precipitación en las estaciones señaladas. De la misma manera se analizó el evento ENOS de 1997-1998 influyeron la magnitud y la permanencia de las condiciones cálidas.

El evento frío de 1999-2001 tuvo una duración más prolongada. Los índices globales coinciden en los tiempos en los que se presentaron los valores más bajos de la serie. Las figuras de la magnitud y longitud de índice centro de enfriamiento CCI demuestran que la magnitud del evento fue similar a la del 88-99 en su principio. Sin embargo, este se prolonga formando un nuevo pico negativo a inicios del

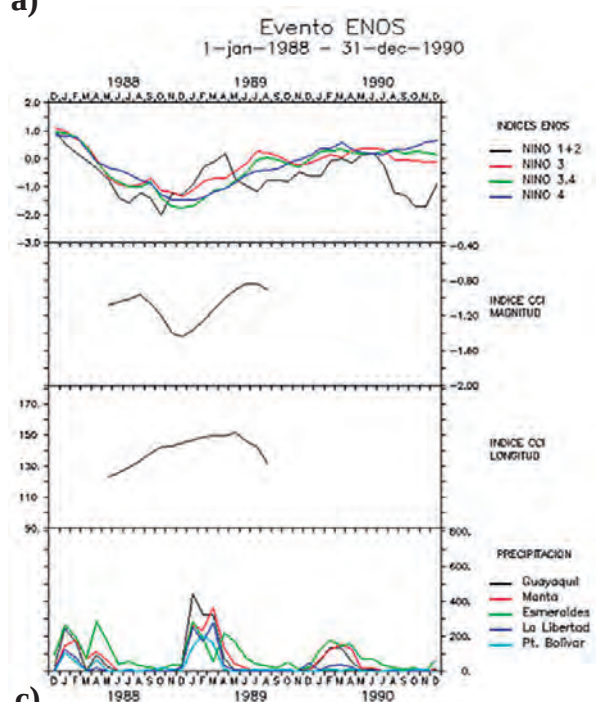
2000. El Niño 3.4, Niño 4 y la magnitud del CCI señalan que las anomalías negativas más fuertes se dieron en el primer pico negativo a inicios de 1999. Sin embargo, los valores más bajos de precipitación se dieron en el segundo pico a inicios del 2000, el mismo que coincide con la longitud del CCI y del índice Niño 3.



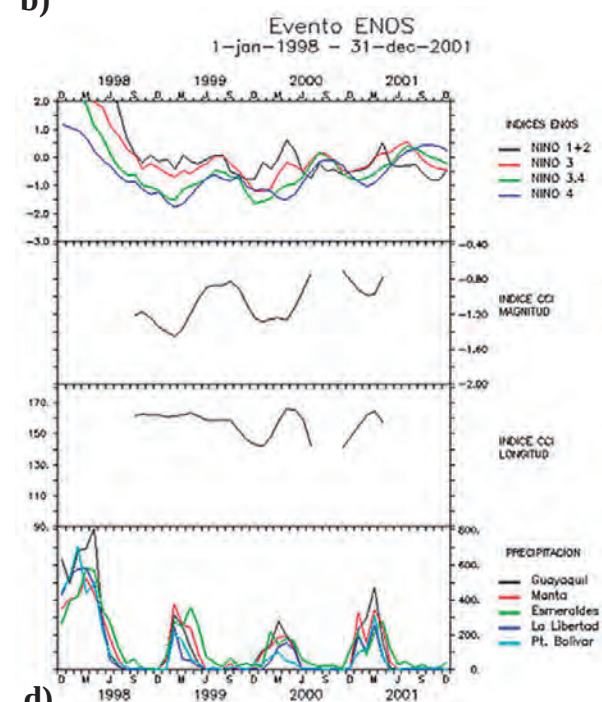
a)



b)



c)



d)

Figura 3. Eventos ENOS cálidos a) y b) y fríos c) y d) más fuertes en los últimos 30 años.

La longitud de CHI muestra el área o la ubicación donde se concentra la anomalía de calor.

ÍNDICE LOCAL BASADO EN UN ÁREA

Teniendo en cuenta que la temperatura superficial del mar influye en el régimen de precipitaciones se procedió a la identificación

del área del Océano Pacífico que mayor relación muestre con la precipitación en la región Costa ecuatoriana. Está área fue representada en un índice discontinuo. Tomando como referencia el índice centro de calor CHI y centro de enfriamiento CCI, se generó un nuevo índice basado en un área en el presente trabajo, formando una serie que combina la amplitud de ambos índices en uno solo.

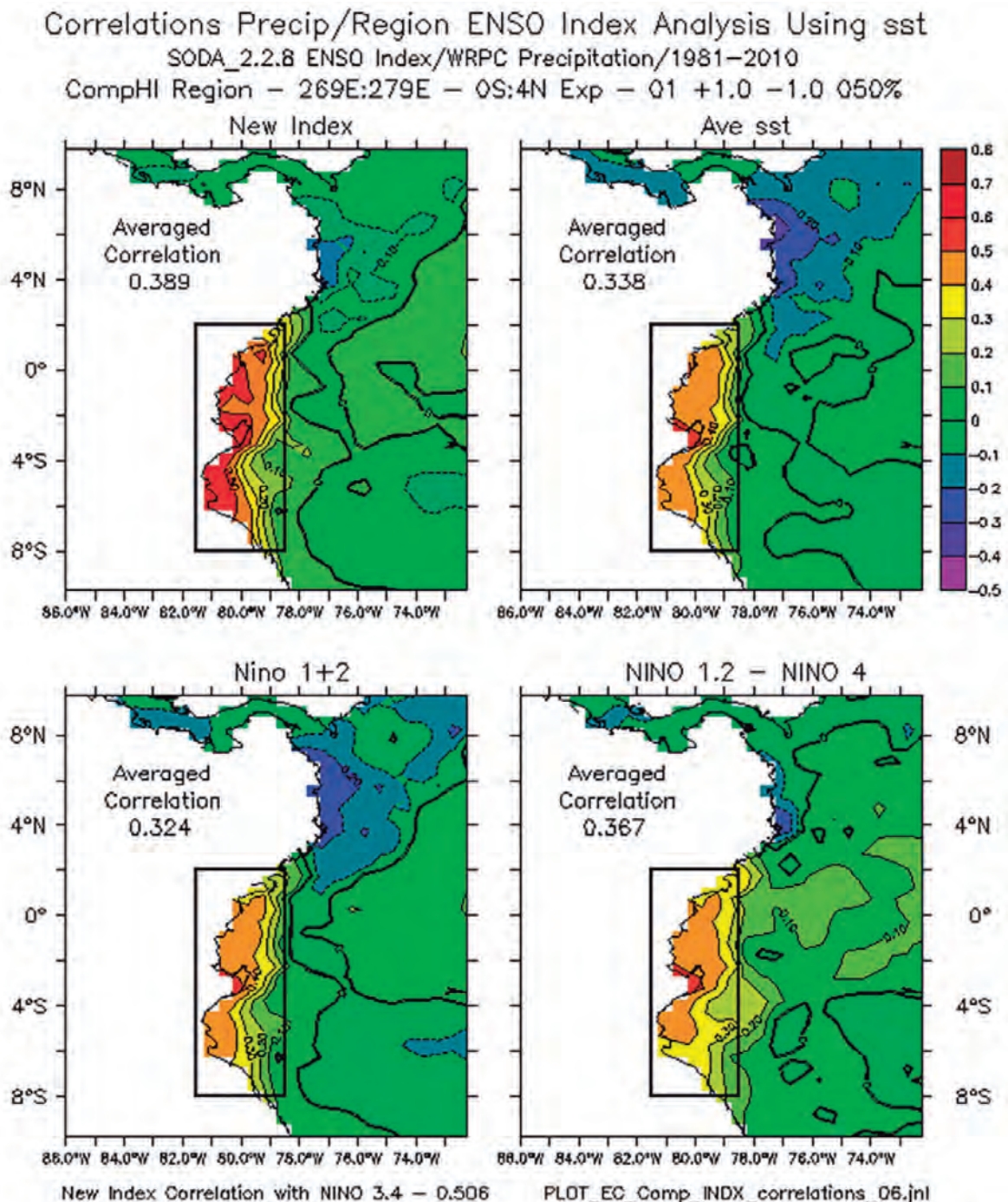


Figura 4. Correlación de la temperatura superficial del mar de SODA 2.2.8 y la precipitación de Esmeraldas

Se realizaron ejercicios para encontrar la zona del océano Pacífico ecuatorial que mejor se correlacione con la precipitación del litoral ecuatoriano en los años 1981-2010. Se hicieron corridas con diferentes regiones hasta encontrar aquella en la que mejor se represente la precipitación de la zona de estudio. Con la misma se obtuvo una serie de tiempo mensual discontinua que representa los valores superiores e inferiores a 1 en el 50 % de la región de estudio desde 1981-2010.

El área que mejor correlación presentó con la región del litoral ecuatoriano y el norte de Perú, delimitada en la figura 4, fue 91W-81W: 0S-4N. Esta región no fue la mayor correlación en comparación con toda la región, pero la que mejores correlaciones presenta con el Norte y Sur del Litoral.

La serie que se obtuvo señala únicamente los meses en los que el 50% de la temperatura superficial de la región establecida sobrepasa el límite superior e inferior que define la mejor

correlación con la precipitación en el litoral ecuatoriano y a su vez la incidencia de la temperatura superficial del mar en la ocurrencia de eventos ENOS. Este umbral de clasificación fue de una unidad en anomalías de temperatura superficial del mar.

En la figura 4 se puede observar la correlación promedio de la serie de precipitación en el litoral con la serie discontinua de temperatura superficial del mar en la esquina superior izquierda; la serie del promedio de la temperatura superficial del mar en la esquina superior derecha; la serie de ATSM de la región Niño 1+2 en la esquina inferior izquierda, al ver el gráfico del recuadro inferior derecho se muestra la correlación del Índice Trans-Niño con la precipitación en el continente. El Índice Trans-Niño corresponde a la diferencia de los índices Niño 1+2 y Niño 3.4 normalizados, este fue desarrollado por Trenberth y Stepaniak (2001) para representar el gradiente de anomalías ENOS de temperatura superficial del mar entre el Pacífico Este y Central.

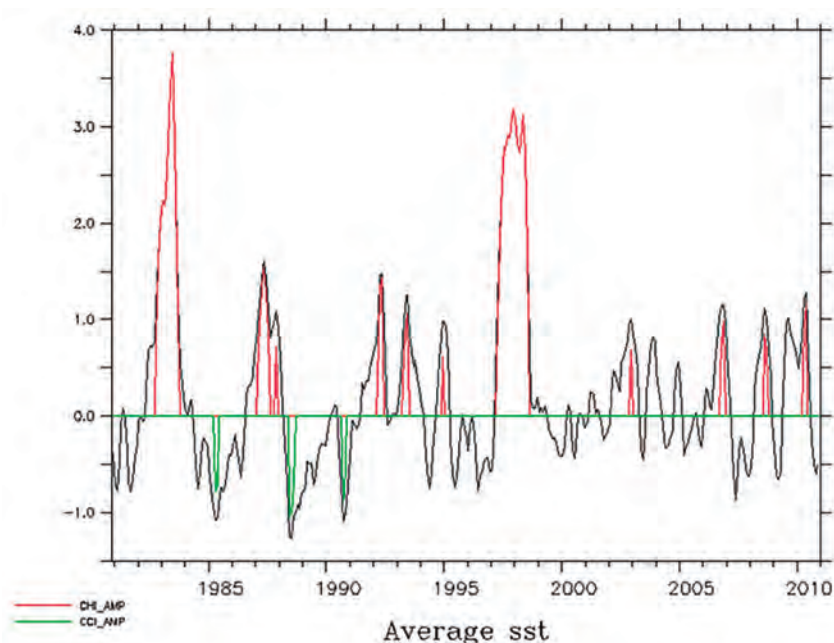


Figura 5 Anomalías de temperatura superficial del mar de la región 91W-81W: 0S-4N (negro) amplitud CHI (rojo) y amplitud CCI de la misma región (verde) 1981 - 2010

En la figura 4 se puede observar la serie de anomalías del promedio de temperatura superficial del mar de la región determinada y la amplitud positiva y negativa de la serie discontinua obtenida con la metodología antes mencionada. En la misma se puede observar que bajo los límites definidos de una unidad superior e inferior a cero, se han dado mayor cantidad de eventos cálidos en los últimos 30 años y que en la última década no se han registrado eventos fríos fuertes.

El evento frío de 1999-2001 no se encuentra registrado en la serie de tiempo estudiada. Esto enfatiza la importancia del estudio de la permanencia de las condiciones frías/cálidas o

ligeramente inferiores o superiores a las normales, ya que estas condicionan el desarrollo de las condiciones atmosféricas.

La prolongación normalmente se debe a la permanencia de las anomalías positivas de TSM debido a la fase cálida del ciclo estacional tal como lo menciona Zambrano et al. (2000). En el caso de la prolongación de los eventos fríos, se supone que estos se deben a la permanencia de la fase fría del ciclo estacional. Sin embargo, estudios indican que después de un evento cálido fuerte la propagación de la energía almacenada hace que ocurran anomalías negativas prolongadas.

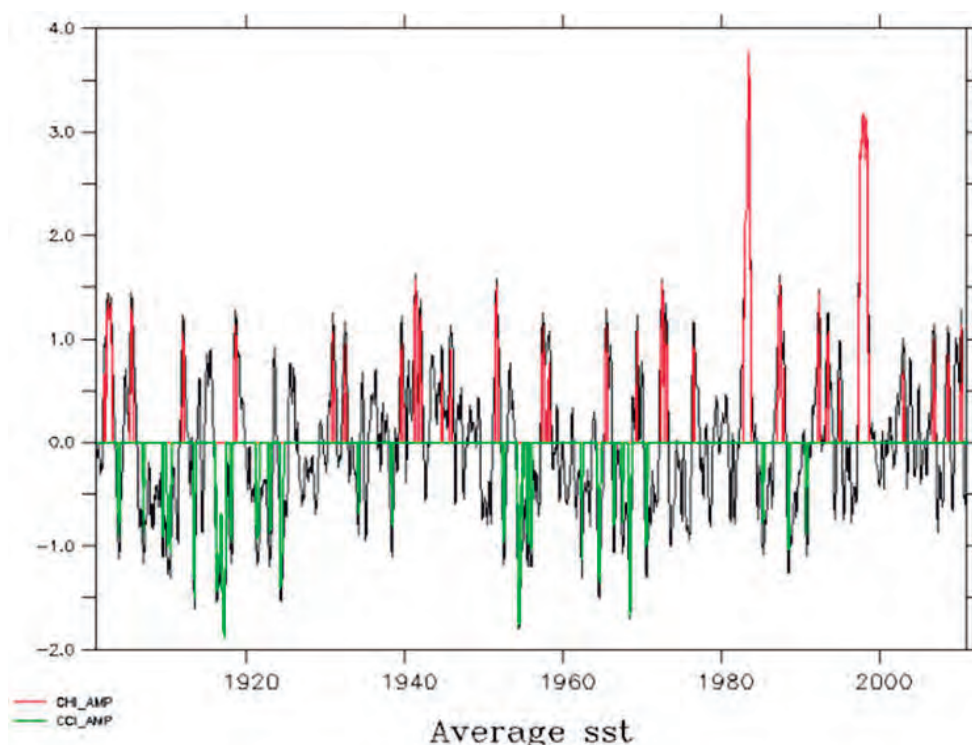


Figura 6 Anomalías de temperatura superficial del mar de la región 91W-81W: 0S-4N (negro) amplitud CHI(rojo) y amplitud CCI de la misma región (verde) 1900-2010

La figura 5 muestra la ocurrencia de eventos cálidos y fríos determinados por la serie discontinua desarrollada con los datos SODA desde 1900 hasta 2010. En la misma se puede observar la variabilidad decadal, debido a que se

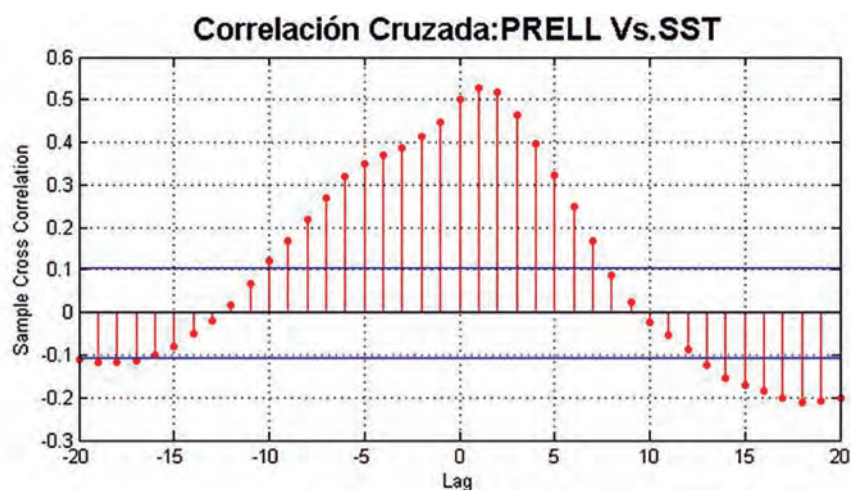
pueden ver las etapas frías seguidas de cálidas y viceversa. Sin embargo, desde 1980 esta tendencia no es tan clara probablemente a que los mayores eventos cálidos se produjeron en las dos décadas posteriores.

Tabla 2. Listado de eventos cálidos y fríos según el índice centro de calor y centro de enfriamiento

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1981													1981												
1982											0,80	1,70	1982												
1983	2,15	2,24	2,18	2,34	2,82	3,41	3,77	3,40	2,30	1,15			1983												
1984													1984												
1985													1985				-0,77	-0,74							
1986													1986												
1987			0,75	1,13	1,48	1,53	1,27	0,86				0,72	1987												
1988													1988												
1989													1989												
1990													1990												
1991													1991												
1992				0,77	1,33	1,43							1992												
1993					0,65	0,98	1,64						1993												
1994													1994												
1995	0,61												1995												
1996													1996												
1997					0,98	1,82	2,49	2,79	2,76	2,99	2,89	3,20	1997												
1998	3,18	3,83	2,83	2,72	2,99	3,14	2,73	1,72					1998												
1999													1999												
2000													2000												
2001													2001												
2002													2002												
2003	0,68												2003												
2004													2004												
2005													2005												
2006											0,77	0,99	2006												
2007													2007												
2008								0,84	0,68				2008												
2009													2009												
2010					0,95	1,13							2010												

Uno de los posibles usos del índice basado en un área generado es su utilidad como variable predictora para la predicción de eventos ENOS. Esta posibilidad se evidenció realizando una correlación cruzada con la precipitación de las estaciones costeras del INOCAR. La precipitación de la estación de Esmeraldas cercana al 0.5 con un mes de retardo con la anomalía de la temperatura superficial promedio de la región estudiada. La identificación de un retardo es importante para los pronósticos. Sin embargo, la precipitación

de las estaciones de La Libertad, Manta, Puerto Bolívar y Puerto Ayora presentaron un adelanto de un mes con respecto a las anomalías de temperatura de la región de estudio, las mismas que estuvieron cercanas a un coeficiente de 0.6. Lo que nos indica que la señal llega después a la localidad de Esmeraldas. Hay que tener en cuenta que las condiciones en el norte del Litoral son diferentes a las del resto del país, por tanto siempre existirán diferencias entre la precipitación de las estaciones.



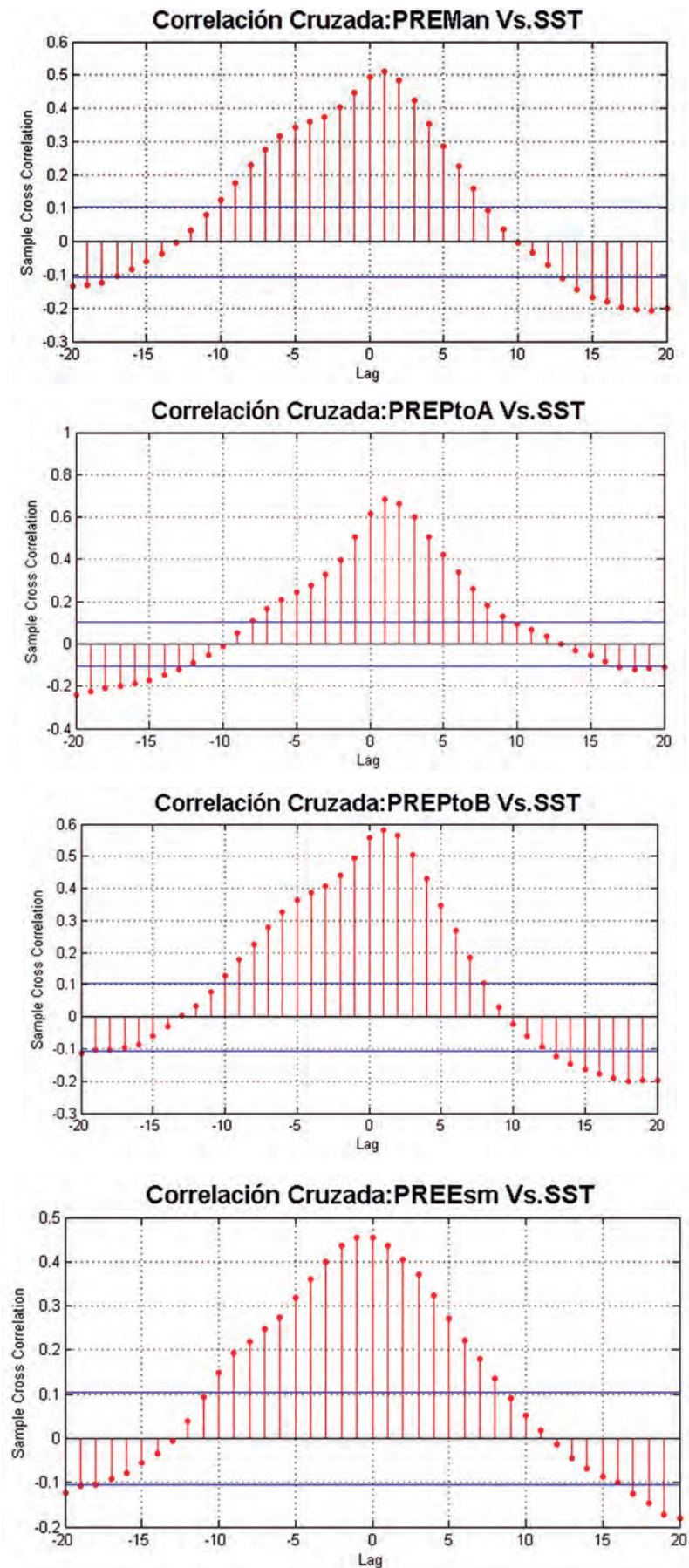


Figura 8 Correlación cruzada entre precipitación en la estación de La Libertad, Manta, Puerto Ayora, Puerto Bolívar, Esmeraldas y las anomalías de temperatura superficial del mar de la región 91W-81W: 0S-4N

CONCLUSIONES

A través de la comparación de las precipitaciones de las estaciones costeras más importantes con los índices de las regiones Niño 1+2, 3, 4, 3.4 y CHI, se pudo observar una mayor correlación con el índice de la región Niño 1+2.

Se identificó el área en que el 50% de anomalías de temperatura superficial del mar (SODA 2.2.8), superiores o inferiores a una unidad tienen mayor correlación con la precipitación (WRCP GCOS GPCC) en el perfil costero Ecuatoriano y el Norte de Perú. Esta área correspondió a la región 91W-80W: 4N-0S. La misma cuya serie de amplitud de anomalías de temperatura superficial del mar superiores e inferiores a una unidad presentaron una correlación promedio de 0.389 con la zona del litoral ecuatoriano y norte de Perú.

Los resultados de la serie de tiempo de la región antes mencionada identifican únicamente la magnitud en que las anomalías cálidas y frías influyen en la precipitación.

La serie de anomalías de TSM de la región estudiada mostró correlaciones desde 0.4 a 0.7 con la precipitación de las estaciones costeras presentando un retardo de un mes con la estación de Esmeraldas y un desfase positivo con las estaciones de Libertad, Manta, Puerto Bolívar y Puerto Ayora, la misma que registro la mayor correlación.

REFERENCIAS

- Dai, A. & Wigley, M. I. (2000) Global patterns of ENSO-induced precipitation. *Geophysical research letters*, 27, 9, 1283-1286.
- Giese, B. & Ray, S. (2011) El Niño variability in simple ocean data assimilation (SODA), 1871-2008. *Journal of geophysical research*, 116, C02024.
- 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 Southern 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.
- Lee, T. & McPhaden, M. J. (2010) Increasing intensity of el Niño in the central equatorial Pacific. *Geophysical research letters*, 37.