



BOLETÍN

TRIMESTRAL OCEANOGRÁFICO

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

VOLUMEN 2, NÚMERO 1



Programa Presupuestal 0068 “Reducción de Vulnerabilidad
y Atención de Emergencias por Desastres”

Actividad: “Generación de Información y Monitoreo del Fenómeno El Niño”

Marzo 2016

Callao, Perú

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ
Boletín Trimestral Oceanográfico, Volumen 2, Número 1

CONTENIDO

	Páginas
Impactos del ENSO en la biogeoquímica del sistema de afloramiento frente a Perú central, febrero 2013 - diciembre 2015. MICHELLE GRACO, DAVID CORREA, WALTER GARCÍA, MIGUEL SARMIENTO.	2
El Índice Térmico Costero Peruano (ITCP) CARLOS QUISPE-CALLUARI, JORGE TAM, HERVÉ DEMARCO, CARLOS ROMERO, DANTE ESPINOZA, ADOLFO CHAMORRO, JORGE RAMOS, RICARDO OLIVEROS.	7
Moluscos Holoplanctónicos (Mollusca: Heteropoda y Thecosomata) como indicadores de la variabilidad oceanográfica y del evento El Niño frente a Callao y Pisco, del 2013 al 2015. ROBERTO QUESQUÉN, PATRICIA AYÓN, LUIS VÁSQUEZ.	12
El recurso calamar gigante en la costa peruana y El Niño. CARMEN YAMASHIRO, WIBERT MARÍN, JUAN ARGUELLES.	17
Comunicado Oficial ENFEN N° 07-2016.	21
Despliegue de boyas ARGO para el estudio y monitoreo del fenómeno El Niño. LUIS PIZARRO, CÉSAR FERRER, STEVE PIOTROWICZ	23
Fotos de Moluscos Holoplanctónicos ROBERTO QUESQUÉN	

EL ÍNDICE TÉRMICO COSTERO PERUANO (ITCP)

CARLOS QUISPE-CCALLUARI¹, JORGE TAM¹, HERVÉ DEMARCO², CARLOS ROMERO¹, DANTE ESPINOZA¹, ADOLFO CHAMORRO¹, JORGE RAMOS¹, RICARDO OLIVEROS¹.

[1]Laboratorio de Modelado Oceanográfico, Ecosistémico y del Cambio Climático
Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, IMARPE
[2]Institut de Recherche pour le Développement (IRD), París, France

RESUMEN

El Ecosistema de Afloramiento Peruano (EAP) es una de las zonas marinas con mayor productividad pesquera en el mundo y por su ubicación geográfica, es afectada por procesos físicos remotos, principalmente por la variabilidad climática interanual proveniente del océano Pacífico Ecuatorial, cuya señal dominante es El Niño y la Oscilación Sur (ENOS).

Con el fin de evaluar los efectos de ENOS frente al Perú, se desarrolló el Índice Térmico Costero Peruano (ITCP) que representa el 87,7% de la variación total de las anomalías de la temperatura superficial del mar del EAP. Se analizó el periodo 1982-2014, detectándose 12 periodos con condiciones cálidas y 16 con condiciones frías. El ITCP tuvo una tendencia lineal, un componente de bajas frecuencias y un componente de ruido, con 1,5%, 94,5 % y 4 % de contribución a la varianza total, respectivamente. El ITCP presenta ventajas respecto a otros índices climáticos de la costa peruana, porque comprende el área representativa del Ecosistema de Afloramiento Peruano y porque captura la señal del afloramiento costero así como de los efectos térmicos de El Niño y La Niña.

INTRODUCCIÓN

En el Ecosistema de Afloramiento Peruano (EAP), la temperatura superficial del mar (TSM) está caracterizada por la frialdad de sus aguas, debido al proceso de afloramiento costero generado por los vientos alisios. Estas condiciones pueden ser perturbadas por otros procesos climáticos, como El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS).

El ENOS es la fluctuación natural del sistema acoplado océano-atmósfera, que ocurre en el Océano Pacífico Ecuatorial (OPE). El ENOS fluctúa entre condiciones inusualmente cálidas (episodio El Niño) y frías (episodio La Niña) (McPHADEN *et al.*, 2006), con efectos en todo el mundo (RASMUSSEN and CARPENTER 1982, McPHADEN *et al.*, 2002).

Un indicador del efecto del ENOS en el OPE es el índice ONI (en inglés: Oceanic Niño Index), (NOAA, 2003), el cual se calcula en base al promedio de las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM) en el área de la región Niño 3.4 (120°W-170°W, 5°N-5°S) del OPE.

La magnitud y comportamiento temporal del índice ONI, son utilizados por la agencia internacional National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para definir los episodios El Niño (EN) y La Niña (LN).

Para el EAP, los principales efectos de EN son un incremento anómalo de las temperaturas superficiales del mar, la profundización de la termoclina frente a la costa y la disminución de la concentración de nutrientes (BARBER y CHÁVEZ 1983, ARNTZ y FAHRBACH 1996). Estos efectos pueden ser mitigados por varios factores, como la intensificación del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) (CHAMORRO, com. personal), por lo que el ONI no es un indicador adecuado para evaluar los efectos de ENOS sobre el EAP.

En vista de la necesidad de contar con un indicador para la detección y pronóstico de la variación interanual de las temperaturas superficiales del mar, se planteó como objetivo del

presente trabajo desarrollar y analizar un indicador del efecto térmico costero de ENOS sobre el EAP, que se le denominará: Índice Térmico Costero Peruano.

DATOS Y METODOLOGÍA

Data

Se usaron datos de temperatura superficial del mar del periodo 1982-2014 a escala mensual, obtenidos de la base de datos REYNOLDS *et al.* (2007). Estos datos fueron obtenidos de la NOAA NCDC OISST version2 (NCDC: National Climatic Data Center, NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration, OISST: Optimum Interpolation Sea Surface Temperature), con una resolución espacial de 0,25° y una resolución temporal de 1 día.

Se usaron otros índices como el Oceanic Niño Index (ONI) representativo del OPE, obtenido de la NOAA/Climate Prediction Center CPC (2015) para el periodo 1982-2014. El Índice Costero El Niño (ICEN) que consiste en la media móvil de 3 meses de las anomalías mensuales de la TSM en la región Niño 1+2 (0°-10°S y 90°W-80°W) (ENFEN, 2012), fue obtenido de la NOAA/CPC, con una resolución espacial de 2°. El LABCOS, que está basado en el registro de TSM de las estaciones costeras en el litoral peruano, fue obtenido de QUISPE y VÁSQUEZ, 2015 (Fig. 1).

Métodos

El área de estudio comprendió una banda costera localizada entre 5°S-19°S y 90°W-70°W (Fig. 1), representativa del EAP. Para definir el límite del área de afloramiento, se usó el máximo gradiente zonal del promedio anual de temperatura superficial de mar, el cual determina el frente termal entre las aguas costeras y las oceánicas.

Las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ATSM), se calcularon eliminando el ciclo anual de los datos de TSM (periodo de la base climatológica fue 1982-2010).

El ITCP se calculó como la media móvil de 3 meses de la primera componente (CP1) reducida (i.e. la CP1 es dividida entre su desviación estándar) de un análisis de componentes principales (ACP) de las anomalías de la ATSM de la zona costera. ACP fue realizado empleando el algoritmo de la descomposición de valores singulares (Singular Value Decomposition, SVD), para obtener las componentes principales de una matriz de ATSM. El ITCP se expresa en unidades de desviación estándar de la primera componente principal.

Se realizó un análisis de series de tiempo del ITCP en el dominio del tiempo y frecuencia. Con el fin de remover la tendencia lineal se realizó un análisis de regresión robusta (VENABLES and RIPLEY 2002).

Para identificar las frecuencias con mayor variabilidad se realizó un análisis de espectro de frecuencias (CHATFIELD, 1996). Con el fin de descomponer el ITCP en señales de baja frecuencia y ruido, se empleó el filtro de Fourier (EMERY y THOMSON, 2004) y para detectar el desfase temporal entre ITCP y el ONI se realizó un análisis de correlación cruzada (VENABLES y RIPLEY 2002). Los análisis de datos se realizaron usando el software R statistical language (R Core Team, 2015).

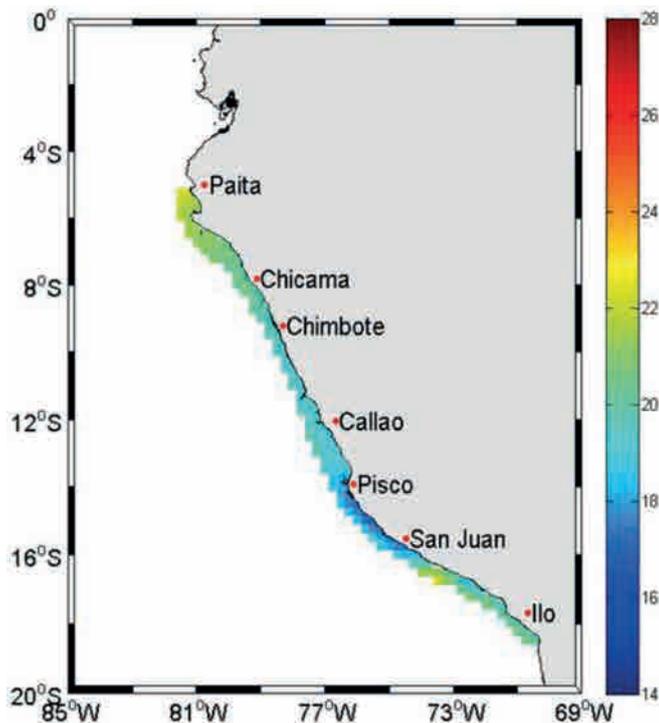


Figura 1. Distribución espacial de la TSM en el área de estudio del Ecosistema de Afloramiento Peruano (EAP). Ubicación de las 6 estaciones costeras del Instituto del Mar del Perú y de la estación de San Juan de Marcona de la Dirección de Hidrografía y Navegación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación temporal del Índice Térmico Costero Peruano (ITCP)

El ITCP explicó el 87,7 % de la varianza de los datos y fue capaz de detectar los efectos de los episodios El Niño 1986-87, 1992-93, 1997-98 en el ecosistema de afloramiento peruano (Fig. 2). La distribución de frecuencias del ITCP presentó una asimetría positiva, debido a la ocurrencia anómala de altas temperaturas por efecto de los eventos El Niño (Fig. 3).

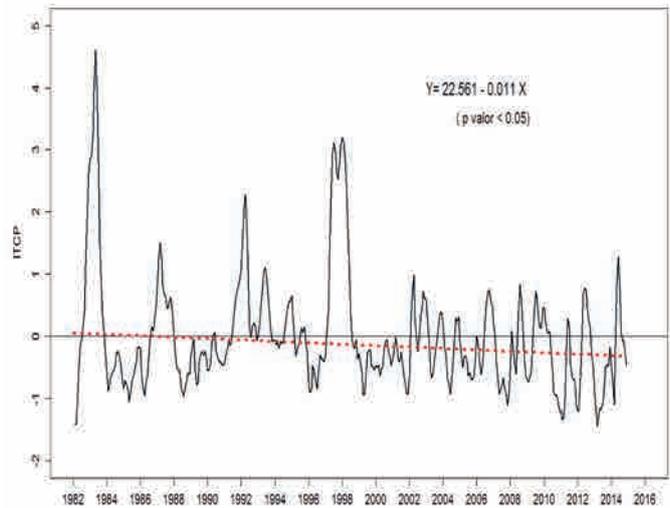


Figura 2. Variación interanual del ITCP (línea continua) y tendencia lineal (línea punteada) para el periodo 1982-2014.

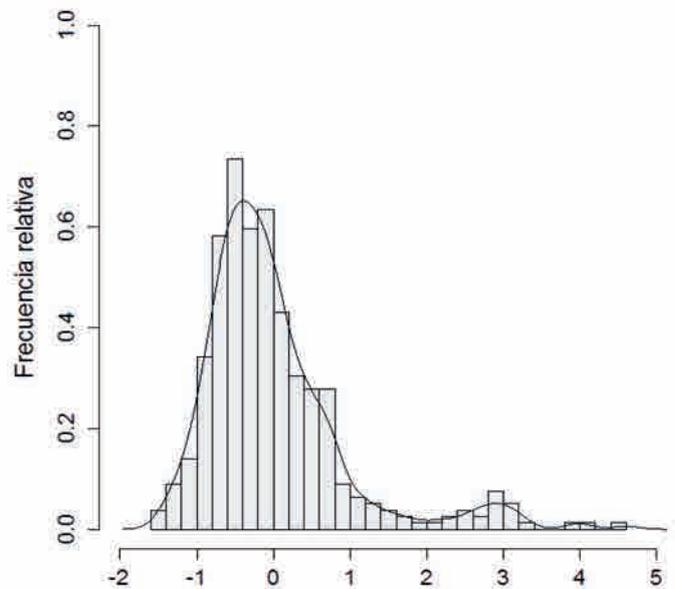


Figura 3. Distribución de frecuencias del ITCP.

Categorización del ITCP

Usando los percentiles 23% y 77%, se categorizó el ITCP en tres condiciones: fría (<-0,6), neutra (-0,6 a 0,4) y cálida (>0,4).

Periodos con condiciones cálidas

Durante el periodo 1982 - 2014, el ITCP detectó 12 periodos cálidos en el EAP (Tab. 1).

Los cinco periodos cálidos más intensos fueron: Setiembre 1982 a Setiembre 1983 con un pico de +4,6 (efecto del episodio El Niño 1982-83), Diciembre 1986 a Noviembre 1987 con un pico de +1,51 (efecto del episodio El Niño 1986-87), Setiembre 1991 a Junio 1992 con un pico de +2,27 (efecto del episodio El Niño 1991-92), Marzo 1997 a Junio 1998 con un pico de +3,2 (efecto del episodio El Niño 1997-1998) y Mayo 2014 a Julio 2014 con un pico de +1,27.

Tabla 1. Periodos cálidos en la zona costera según el ITCP.

Evento	Período	Valor máximo ITCP	Duración (meses)
1	SET 1982 - SET 1983	4,6	13
2	DIC 1986 - NOV 1987	1,51	12
3	SET 1991 - JUN 1992	2,27	10
4	MAR 1993 - SET 1993	1,12	7
5	OCT 1994 - ENE 1995	0,65	4
6	MAR 1997 - JUN 1998	3,2	16
7	OCT 2002 - ENE 2003	0,73	4
8	AGO 2006 - DIC 2006	0,75	5
9	JUL 2008 - SET 2008	0,83	3
10	JUN 2009 - AGO 2009	0,72	3
11	MAY 2012 - AGO 2012	0,77	4
12	MAY 2014 - JUL 2014	1,27	3

Periodos con condiciones frías

Durante el periodo de 1982 al 2014, se detectaron 16 eventos fríos frente a la costa del Perú (Tab. 2). Los cinco periodos fríos más intensos fueron: Febrero 1982 a Abril 1982, Febrero 1984 a Junio 1986 con un mínimo de -1,04 (efecto del episodio La Niña 1984-85), Junio - Diciembre 1988 con un mínimo de -0,96 (efecto del episodio La Niña 1988-89), Agosto 2010 a Abril 2011 con un mínimo de -1,34 (efecto del episodio La Niña 2010-11) y Enero-Agosto 2013 con un mínimo de -1,44 (periodo neutro en el OPE).

Tabla 2. Periodos fríos en la zona costera según el ITCP.

Evento	Período	Valor Mínimo ITCP	Duración (meses)
1	FEB 1982 - ABR 1982	-1,41	3
2	FEB 1984 - ABR 1984	-0,87	3
3	DIC 1984 - AGO 1985	-1,04	9
4	FEB 1986 - JUN 1986	-0,95	5
5	JUN 1988 - DIC 1988	-0,96	7
6	ENE 1996 - MAR 1996	-0,9	3
7	JUN 1996 - AGO 1996	-0,84	3
8	ABR 1999 - JUN 1999	-0,94	3
9	SET 2001 - ENE 2002	-0,92	5
10	ABR 2004 - JUL 2004	-0,92	4
11	SET 2005 - NOV 2005	-0,7	3
12	ABR 2007 - DIC 2007	-1,11	9
13	DIC 2008 - MAR 2009	-0,75	4
14	AGO 2010 - ABR 2011	-1,34	9
15	SET 2011 - FEB 2012	-1,2	6
16	ENE 2013 - AGO 2013	-1,44	8

Análisis del ITCP en el dominio de la frecuencia

El espectro de frecuencias del ITCP sin tendencia lineal, mostró picos de máxima variabilidad en periodos de 1,5; 2,1; 3; 3,7; 4,7; 5,5 años (Fig. 4). El ITCP se descompuso en tres componentes: tendencia lineal (Fig. 2), bajas frecuencias (Fig. 5a) y ruido (frecuencias menores a 1,5 años) (Fig. 5b). El ITCP presentó una tendencia lineal negativa de -0,011/mes ($p < 0,05$).

La componente tendencia lineal contribuyo con 1,5%, las bajas frecuencias, con 94,5 % y el ruido con 4% de la varianza total del ITCP.

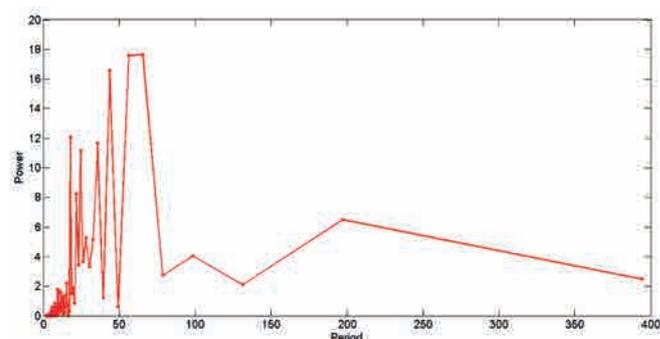


Figura 4. Espectro de Frecuencias del ITCP

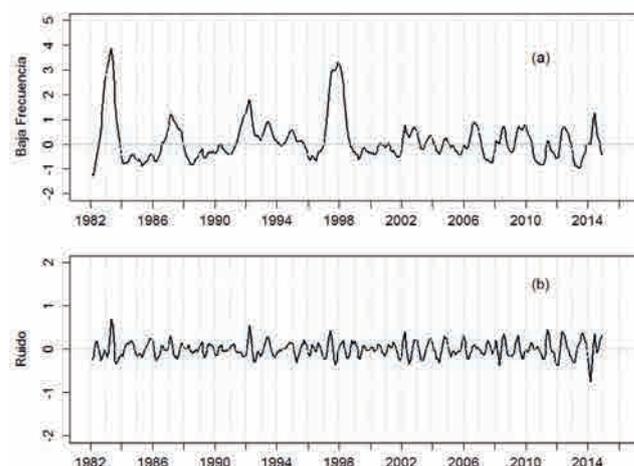


Figura 5. Componentes del ITCP: (a) componente de baja frecuencia y (b) ruido.

Comparación con otros indicadores

Se comparó el ITCP con otros indicadores, como el ONI (NOAA, 2003), ICEN (ENFEN, 2012) y el LABCOS (QUISPE & VÁSQUEZ, 2015), durante el periodo de estudio (1982-2014) (Tabs. 3, 4 y 5), para lo cual se identificaron los eventos cálidos y fríos con los cuatro indicadores.

Según el ONI, se presentó en total 9 episodios El Niño y 6 episodios La Niña en el OPE, mientras que en el EAP, el ITCP detectó 12 eventos cálidos y 12 eventos fríos. En 6 episodios La Niña (ONI), se presentaron eventos fríos en el EAP y en 8 episodios El Niño se presentaron eventos cálidos en el EAP. Por otro lado, en 4 periodos con condiciones neutrales en el OPE, se detectaron eventos cálidos en el EAP.

El evento cálido ocurrido en el EAP entre marzo - setiembre 1993, coincidió con una condición El Niño en el OPE, que no llegó a ser episodio El Niño. Los eventos cálidos ocurridos en el EAP entre mayo - agosto 2012 y mayo - julio 2014, se debieron al efecto del desarrollo de condiciones El Niño en los periodos setiembre - octubre 2012 y noviembre 2014 - enero 2015, respectivamente, que tampoco llegaron a ser episodios El Niño.

Según el ICEN, se presentaron 7 eventos fríos y 14 cálidos en la región Niño 1+2 (Tab. 4) y según el LABCOS fueron 11 eventos fríos y 11 eventos cálidos en el litoral peruano (Tab. 5). El ICEN detectó 5 eventos fríos menos que el ITCP (-42%), probablemente debido a que está más influenciado por el OPE. Por otro lado el LABCOS detectó 2 periodos neutros más que el ITCP (+9%), sugiriendo que el LABCOS tiende a ser más conservador.

Tabla 3. Tabla cruzada de episodios cálidos y fríos entre el ONI y el ITCP.

		ITCP			
		Frío	Neutro	Cálido	
ONI	Frío	6	0	0	6
	Neutro	6	21	4	31
	Cálido	0	1	8	9
		12	22	12	46

Tabla 4. Tabla cruzada de episodios cálidos y fríos entre el ITCP y el ICEN.

		ICEN			
		Frío	Neutro	Cálido	
ITCP	Frío	7	5	0	12
	Neutro	0	20	2	22
	Cálido	0	0	12	12
		7	25	14	46

Tabla 5. Tabla cruzada de episodios cálidos y fríos entre el ITCP y el LABCOS.

		LABCOS			
		Frío	Neutro	Cálido	
ITCP	Frío	10	2	0	12
	Neutro	1	21	0	22
	Cálido	0	1	11	12
		11	24	11	46

La correlación cruzada entre el ITCP y el ONI (Fig. 6) mostró un desfase en el cual el ONI precede al ITCP con un mes de anticipación, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,69 ($p < 0,05$).

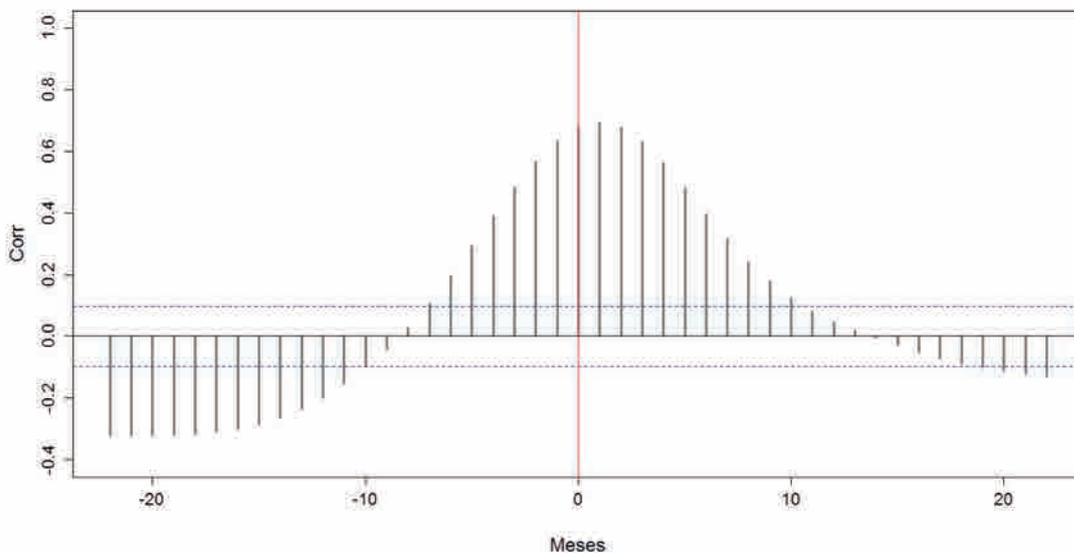


Figura 6.- Correlación cruzada entre el ITCP y el ONI.

Finalmente, considerando el rango latitudinal de los indicadores en el EAP, el ICEN es calculado tomando en cuenta las temperaturas registradas entre la línea ecuatorial y los 10°S, con una resolución espacial de 2°, por lo que su representatividad frente a la costa peruana se encuentra limitada.

Para el caso del LABCOS, comprende algunas estaciones costeras entre 5°S y 17°S (de Paita a Ilo) y muy cerca de la costa (Fig. 1). El ITCP toma en cuenta el área entre 5°S y 19°S, y de la costa al máximo gradiente termal (ca. 85 km), con una resolución más fina, de 0,25°, siendo el índice más representativo de la zona de afloramiento costero peruano y por ello de las manifestaciones costeras de El Niño y La Niña a lo largo del litoral.

CONCLUSIONES

Se elaboró el Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), que representa la variación interanual de las temperaturas del Eco-

sistema de Afloramiento Peruano (EAP). El ITCP representó el 87,7% de la variación total de las ATSM y presentó una asimetría positiva, sin estacionalidad.

Durante 1982-2014, el ITCP detectó 12 periodos con condiciones cálidas y 16 con condiciones frías en el EAP. El ITCP presentó: a) una tendencia lineal, b) un componente de bajas frecuencias y c) un componente de ruido, con 1,5%, 94,5% y 4% de contribución a la varianza total, respectivamente.

Al comparar el ITCP con el ONI durante el periodo de estudio (1982-2014), se encontró que en 6 episodios La Niña se presentaron eventos fríos en el EAP, mientras que en 8 episodios El Niño se presentaron eventos cálidos en el EAP.

Por otro lado, en 4 periodos con condiciones neutrales del OPE, ocurrieron eventos cálidos en el EAP. El ONI precedió al ITCP con un mes de anticipación.

El ITCP presenta ventajas respecto a otros índices climáticos de la costa peruana, porque comprende el área del Ecosistema de Afloramiento Peruano (5°S-19°S) y porque captura la señal del afloramiento costero así como de los efectos térmicos de El Niño y La Niña.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo permanente de todo el personal del LMOECC del IMARPE durante la ejecución del presente trabajo. Este trabajo es publicado con el apoyo de la AIRD y el JEAI "EMACEP" (Ecología Marina Cuantitativa del Ecosistema de Afloramiento Peruano).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNTZ W E, FAHRBACH E. 1996. El Niño: Experimento Climático de la Naturaleza. Fondo de Cultura Económica México D.F. 312 p.

BARBER R T, CHAVEZ F P. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science*, vol. 222, no. 4629, pp. 1203-1210.

CHATFIELD C. 1996. *The Analysis of Times Series: An Introduction*. Quinta edición Chapman & Hall. 352 p.

ENFEN (Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño). 2012. Comité ENFEN acuerda Índice Operacional para definir El Niño y la Niña en la Costa Peruana. (http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_comenf_not_pren_enfen_9abr12.pdf)

EMERY W J, THOMSON R E. 2004. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Segunda edición revisada. Elsevier, Amsterdam, 638 pp.

MCPHADEN M J, ZEBIAK S E, GLANTZ M H. 2006. ENSO as an integrating concept in Earth science. *Science*, 314(5806), 1740–1745.

MCPHADEN M J. 2002. "El Niño and La Niña: Causes and Global Consequences". In: *Encyclopedia of Global Environmental Change*, Vol 1, John Wiley and Sons, LTD., Chichester, UK, 353-370.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Magazine. 2003. NOAA gets U.S. consensus for El Niño/La Niña index, definitions. (<http://www.publicaffairs.noaa.gov/releases2003/sep03/noaa03119.html>). Setiembre 30 2003.

NOAA, CPC. 2015. Oceanic EL Niño Index. En línea (http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml).

QUISPE J y VÁSQUEZ L. 2015. Índice LABCOS para la caracterización de eventos El Niño y La Niña frente a la costa del Perú, 1976-2015. *Boletín Trimestral Oceanográfico*, Vol.1, Números 1-4, págs.: 14-18, Instituto del Mar del Perú.

RASMUSSEN E M, CARPENTER T H. 1982. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and 11 Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 12 354–384.

R CORE TEAM. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (disponible en <https://www.R-project.org/>).

REYNOLDS R W, SMITH T M, LIU C, CHELTON D B, CASEY K S, SCHLAX M G. 2007: Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. *J. Climate*, 20, 5473-5496.

VENABLES W N, RIPLEY B D. 2002. *Modern Applied Statistics with S*. Cuarta edición. Springer, New York. 446 p.