

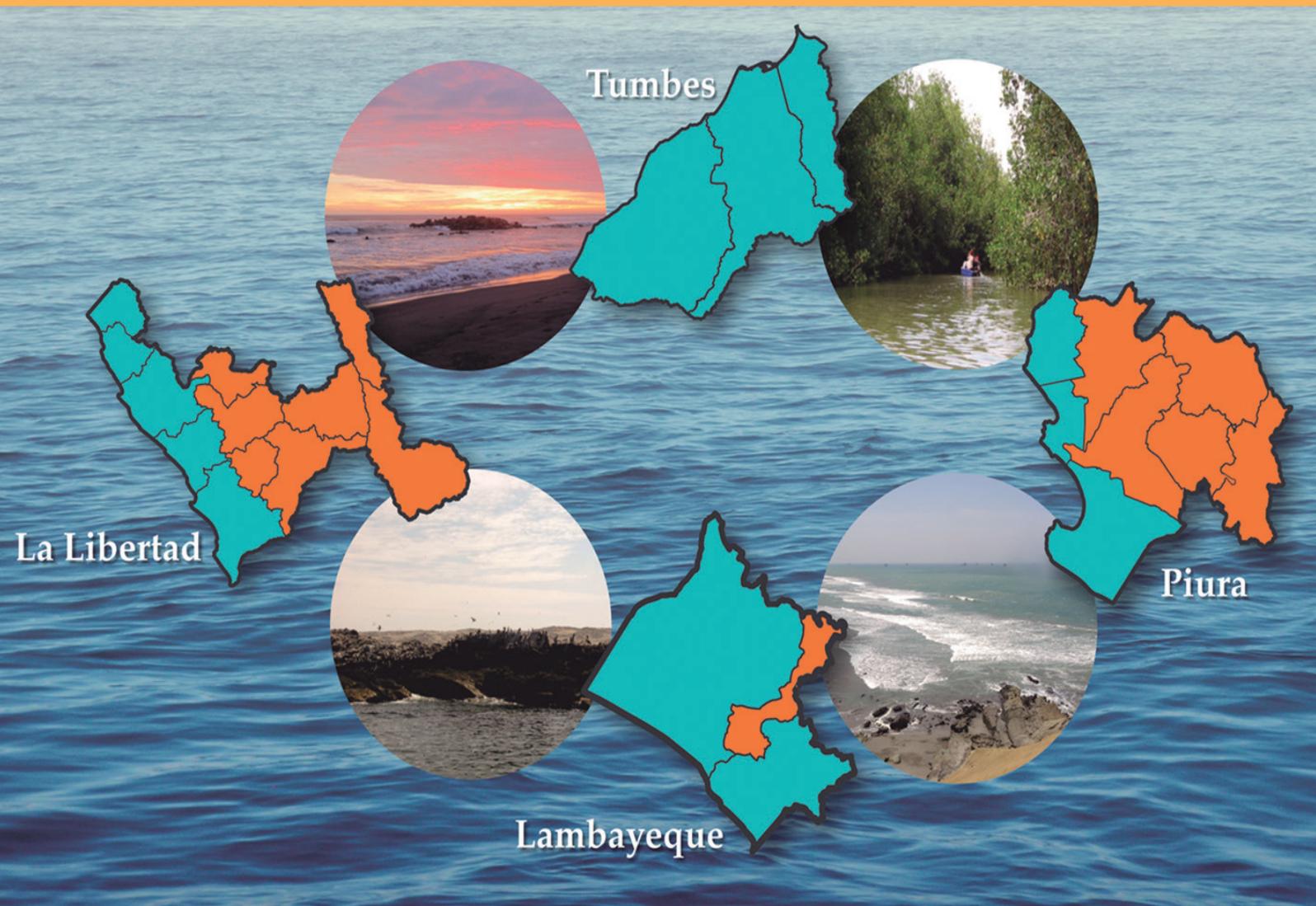


INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

INFORME

ISSN 0378-7702

Volumen 44, Número 1



Enero - Marzo 2017
Callao, Perú

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

INFORME ISSN 0378-7702

Volumen 44, Número 1, Enero - Marzo 2017
[Inf Inst Mar Perú 44(1)]

CONTENIDO

I. SECCIÓN

PROGRAMA PRESUPUESTAL 068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

Actividad: Generación de Información y Monitoreo del Fenómeno El Niño – IMARPE

1. **Climatología termohalina frente a las costas del Perú. Periodo: 1981 – 2010**
Thermohaline climatology in front of the coast of Peru. Period: 1981 - 2010
NOEL DOMINGUEZ, CARMEN GRADOS, LUIS VÁSQUEZ, DIMITRI GUTIÉRREZ, ALEXIS CHAIGNEAU 5
2. **Variabilidad del plancton y efectos de El Niño y La Niña sobre el fitoplancton. 2013-2016**
Variability of plankton and the effects of El Niño and La Niña on the phytoplankton. 2013-2016
SONIA SÁNCHEZ, JORGE QUISPE, JOSÉ MENDOZA 14
3. **Cambios del macrobentos en una estación fija frente a Chicama y su relación con la variabilidad oceanográfica**
Macrobenthos changes in the continental shelf off Chicama related oceanographic variability
LUIS QUIPUZCOA, DENNIS ROMERO, VÍCTOR ARAMAYO, ROBERT MARQUINA, DIMITRI GUTIÉRREZ..... 20
4. **Desarrollo y aplicación de índices y simulaciones para la vigilancia y el pronóstico a mediano plazo del impacto del ENOS frente a la costa peruana**
Development and application of indices and simulations for surveillance and medium-term forecasting of the impact of ENSO in front of the Peruvian coast
CARLOS QUISPE-CALLUARI, JORGE TAM, CINTHIA ARELLANO, ADOLFO CHAMORRO,
DANTE ESPINOZA-MORRIBERÓN, CARLOS ROMERO, JORGE RAMOS 28
5. **Intensificación del viento costero frente al litoral peruano durante El Niño 2015-2016**
Intensification of the wind off the coastal of Peru during El Niño 2015 – 2016
DAVID CORREA, LUIS VÁSQUEZ, DIMITRI GUTIÉRREZ 35
6. **Extracto: Comunicado Oficial ENFEN N° 03-2017**..... 38
7. **El decaimiento del evento El Niño 2015-2016 frente a las costas del Perú a través de un vehículo submarino autónomo**
FRANCOIS COLAS, DAVID CORREA, JEAN-LUC FUDA, MARTÍN CAMPOS, CÉLINE BACHELIER,
HERVÉ DEMARCO, LUIS ESCUDERO, LUIS VÁSQUEZ, DIMITRI GUTIÉRREZ, VINCENT ECHEVIN 40

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE ÍNDICES Y SIMULACIONES PARA LA VIGILANCIA Y EL PRONÓSTICO A MEDIANO PLAZO DEL IMPACTO DEL ENOS FRENTE A LA COSTA PERUANA

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF INDICES AND SIMULATIONS FOR SURVEILLANCE AND MEDIUM-TERM FORECASTING OF THE IMPACT OF ENSO IN FRONT OF THE PERUVIAN COAST

Carlos Quispe-Ccalluari¹ Jorge Tam¹ Cinthia Arellano¹ Adolfo Chamorro¹
 Dante Espinoza-Morriberón¹ Carlos Romero¹ Jorge Ramos¹

RESUMEN

QUISPE-CCALLUARI C, TAM J, ARELLANO C, CHAMORRO A, ESPINOZA-MORRIBERÓN D, ROMERO C, RAMOS J. 2017. Desarrollo y aplicación de índices y simulaciones para la vigilancia y el pronóstico a mediano plazo del impacto del ENOS frente a la costa peruana. Programa Presupuestal: Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres. Inf Inst Mar Peru. 44(1): 28-34.- El propósito del trabajo es presentar índices oceanográficos del Pacífico Sudeste, pronósticos de la propagación de las ondas Kelvin ecuatoriales (OKE) y pronósticos del Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), usando como un ejemplo la información observacional actualizada hasta setiembre 2016. Durante el trimestre julio-agosto-setiembre (JAS) 2016, los Índices Térmico Costero Peruano (ITCP) y del Anticiclón del Pacífico Sur (IAPS) presentaron condiciones neutras, el Índice del Área de afloramiento (IAA) presentó condición baja (con una extensión de 85,2 km²) y el Índice de Clorofila Superficial (ICS) presentó condición alta. Según la simulación de la propagación de ondas Kelvin a lo largo del Pacífico Ecuatorial, se pronosticó el arribo de una onda Kelvin de afloramiento (fría, modo 1) a las costas de Sudamérica en octubre 2016 y el arribo de otra onda Kelvin de afloramiento (fría, modo 2) en noviembre 2016. Se usaron 2 modelos de pronóstico de efectos térmicos de El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) frente a la costa peruana y la variable pronosticada fue el Índice Térmico Costero Peruano (ITCP). El modelo empírico basado en el volumen de agua cálida ecuatorial y el Anticiclón del Pacífico Sur pronosticó condiciones neutras para el ITCP entre octubre 2016 y enero 2017, por otro lado, el modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia basado en forzantes del Pacífico Ecuatorial Tropical, pronosticó condiciones neutras para el ITCP entre octubre 2016 y enero 2017.

PALABRAS CLAVE: Índices oceanográficos, impacto del ENOS

ABSTRACT

QUISPE-CCALLUARI C, TAM J, ARELLANO C, CHAMORRO A, ESPINOZA-MORRIBERÓN D, ROMERO C, RAMOS J. 2017. Development and application of indices and simulations for surveillance and medium-term forecasting of the impact of ENSO in front of the Peruvian coast. Budget Program: Reducing vulnerability and disaster emergency response. Inf Inst Mar Perú. 44(1): 28-34.- The purpose of this paper is to present oceanographic indexes of Southeast Pacific, predictions of the equatorial Kelvin waves (EKW) and forecasts of the Peruvian Coastal Thermal Index (PCTI), using as an example the updated observational information until September 2016. During the July-August-September (JAS) 2016 quarter, the Peruvian Coastal Thermal Indices (PCTI) and the South Pacific Anti-cyclone (SPAI) presented neutral conditions, the Upwelling Area Index (UAI) presented a low condition (with an extension of 85.2 km²) and the Superficial Chlorophyll Index (SCI) presented a high condition. According to the simulation of propagation of Kelvin waves along the Equatorial Pacific, the arrival of a Kelvin wave of upwelling (cold, mode 1) to the coasts of South America in October 2016 and the arrival of another outcrop Kelvin wave (cold, mode 2) in November 2016 was predicted. Two predictive models of thermal effects of El Niño and Southern Oscillation (ENSO) were used off the Peruvian coast and the predicted variable was the Peruvian Coastal Thermal Index (PCTI). The empirical model based on the equatorial warm water volume and the South Pacific Anticyclone predicted neutral conditions for the PCTI between October 2016 and January 2017, on the other hand, the ocean-atmosphere coupled model of intermediate complexity based on Tropical Equatorial Pacific forces predicted neutral conditions for ITCP between October 2016 and January 2017.

KEYWORDS: Oceanographic indices, impact of ENSO

1 Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático (DGIOCC), Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú.
 cquispe@imarpe.gob.pe

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de realizar una efectiva vigilancia y el pronóstico de mediano plazo del impacto del ENOS frente en la costa peruana, se vienen desarrollando índices oceanográficos y atmosféricos del Pacífico Sudeste, así como modelos de simulación para su pronóstico. El presente trabajo tiene el propósito de presentar algunos índices oceanográficos del Pacífico Sudeste, pronósticos de la propagación de las ondas Kelvin ecuatoriales (OKE) y pronósticos del Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), usando como ejemplo la información observacional hasta setiembre 2016. Cabe señalar que el Índice Oceánico de El Niño (ONI) desde el trimestre MJJ (mayo, junio, julio) 2016 presentó valores entre $+0,5$ °C y $-0,5$ °C, que según criterio de la NOAA (2004) las condiciones del ENOS fueron Neutras en el Océano Pacífico Tropical durante ese periodo.

INDICADORES OCEANOGRÁFICOS Y ATMOSFÉRICOS DEL PACÍFICO SUDESTE

Índice Térmico Costero Peruano (ITCP)

Se usó el ITCP (QUISPE-CCALLUARI et al. 2016) para representar la variabilidad interanual oceánica frente a la costa peruana, el cual se calculó mediante la media móvil trimestral de la primera componente principal de las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ATSM) de las aguas costeras, a partir de la base de datos de REYNOLDS et al. (2007) que explicó el 87,7% de la varianza. El ITCP fue clasificado en 3 condiciones: frío, neutro y cálido.

Durante el trimestre JAS (julio, agosto, setiembre) 2016, el valor del ITCP presentó condición neutra ($+0,18$) (Fig. 1a).

Índice del Anticiclón del Pacífico Sur (IAPS)

Se usó el IAPS (IMARPE 2016) para caracterizar la intensidad del Anticiclón del Pacífico Sur (APS), el cual se calculó mediante la media móvil trimestral de la anomalía de la presión atmosférica máxima en el núcleo del APS con datos de la base de datos internacional NCEP/NOAA (KALNAY et al. 1996). El IAPS fue clasificado en 3 condiciones: débil, neutro e intenso.

Durante el trimestre JAS 2016 el IAPS presentó condición neutra ($-1,24$) (Fig. 1b).

Índice del área de afloramiento (IAA)

Se calculó el IAA para caracterizar el área costera limitada por el frente térmico (en 10^3 km²) entre los 05°S y 14°S en la franja de 300 km frente al litoral, y

puede ser empleado como un indicador del avance o repliegue de las aguas del afloramiento costero. Este indicador ha sido desarrollado en base al frente térmico (ROMERO et al. 2014) construido a partir de datos de TSM satelital de nivel 4 (Multiscale UltraHigh Resolution MUR, JPL-NASA) a 1 km de resolución. El IAA fue clasificado en 3 condiciones: baja, media y alta.

Durante el trimestre JAS 2016, el IAA presentó una condición baja (85,23 km²) (Fig. 1c).

Índice de Clorofila a Superficial (ICS)

Para el análisis de la clorofila-a superficial se utilizó información diaria proveniente del satélite MODIS con una resolución espacial de 4 km dentro de los 100 km a la costa y los 4°S - 16°S. Se construyó una climatología tomando en cuenta información del 2002 al 2013 y se obtuvieron las anomalías promedio de la clorofila-a superficial (mg.m⁻³). El ICS se calculó como la media móvil trimestral de las anomalías promedio de la concentración de clorofila-a superficial (mg.m⁻³) mensualmente (IMARPE 2016). El ICS fue clasificado en 3 condiciones: baja, media y alta.

Durante el trimestre JAS 2016, el ICS presentó condición alta ($+1,07$) (Fig. 1d).

SIMULACIÓN DE ONDAS KELVIN ECUATORIALES

Con el fin de detectar la propagación de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (OKE) hacia el Pacífico Oriental Ecuatorial, se simularon las ondas Kelvin siguiendo la metodología de ILLIG et al. (2004) y DEWITTE et al. (2002), usando como forzante vientos actualizados hasta el 27 de setiembre 2016 (KALNAY et al. 1996). El pronóstico de las OKE hasta el 30 de noviembre 2016 se realizó sin el forzante de vientos, y para el cálculo de las anomalías se usó el periodo 2000-2008. La correlación entre los valores de nivel del mar observado y pronosticado en el Pacífico Sudeste fue significativa ($r = 0,69$, $p < 0,05$) para el periodo 1993-2008 (QUISPE et al. 2014).

Se graficó la contribución de los modos baroclínicos 1 y 2 de las OKE a las anomalías del nivel del mar (cm) en el Pacífico Ecuatorial (Fig. 3) y la contribución conjunta de los modos baroclínicos 1+2 de las OKE (Fig. 2). Los valores positivos corresponden a OKE de hundimiento "cálidas" y los valores negativos corresponden a OKE de afloramiento "frías".

Según la simulación de la propagación de las OKE a lo largo del Pacífico Ecuatorial, dos OKEs frías se generaron debido a la intensificación de los alisios en el Pacífico Ecuatorial Occidental-Central en setiembre 2016. Una OKE fría (modo 1), cuyo arribo a las costas

Índice de Clorofila a Superficial (ICS)

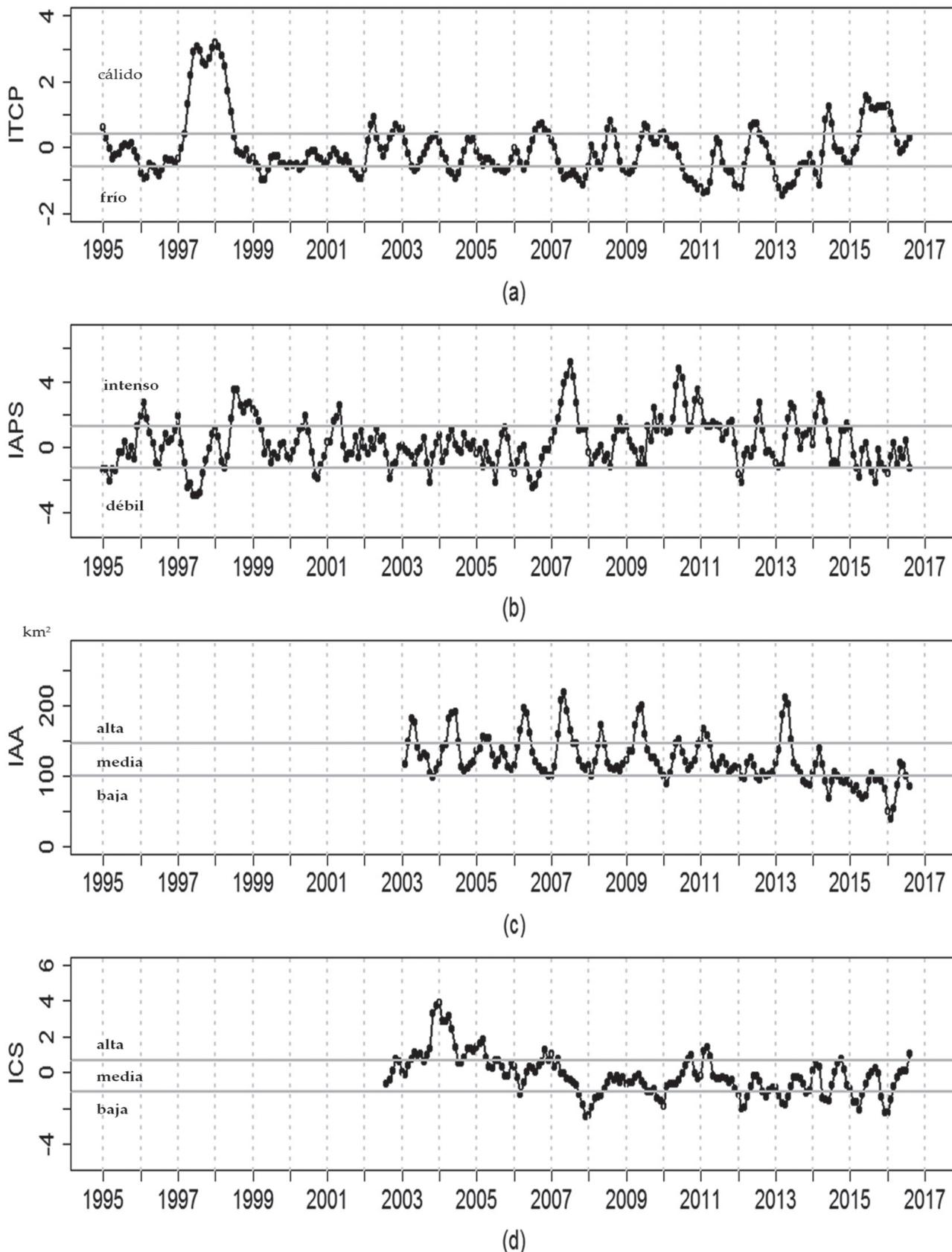


Figura 1.- Variación interanual de: (a) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), (b) Índice del APS (IAPS), (c) Índice del área de afloramiento (IAA), (d) Índice de Clorofila a Superficial (ICS)

de Sudamérica se pronosticó para octubre 2016, sin embargo esta OKE fría perdió intensidad y no arribó debido a que los vientos mostraron anomalías del oeste en la región del Pacífico Ecuatorial Oriental en octubre 2016. La otra OKE fría (modo 2) se pronosticó su arribo a las costas de Sudamérica para noviembre 2016, lo que efectivamente ocurrió.

PRONÓSTICO DE EFECTOS TÉRMICOS DE ENOS SOBRE LA COSTA PERUANA

Con el fin de pronosticar los efectos del ENOS sobre la temperatura superficial del mar (TSM) frente a la costa peruana, representada por el índice ITCP, se utilizaron 2 modelos de simulación, basados en diferentes métodos matemáticos y estadísticos. En

la Tabla 1 se comparan las características de cada modelo.

Pronóstico del ITCP usando un modelo empírico

Se usó un modelo empírico basado en el volumen de agua cálida ecuatorial (VAC) (MATELLINI et al. 2007) con datos de las boyas TAO (TAO 2016) y, en el Índice del Anticiclón del Pacífico Sur (IAPS) (IMARPE 2016) para realizar el pronóstico del ITCP para un horizonte de 4 meses.

La correlación entre los valores del ITCP simulados y observados fue significativa ($r = 0,6$, $p < 0,05$) para el período 1982-2011, y la mediana absoluta de los errores entre los datos simulados y observados fue de 0,41 (6,59% del rango de valores ITCP).

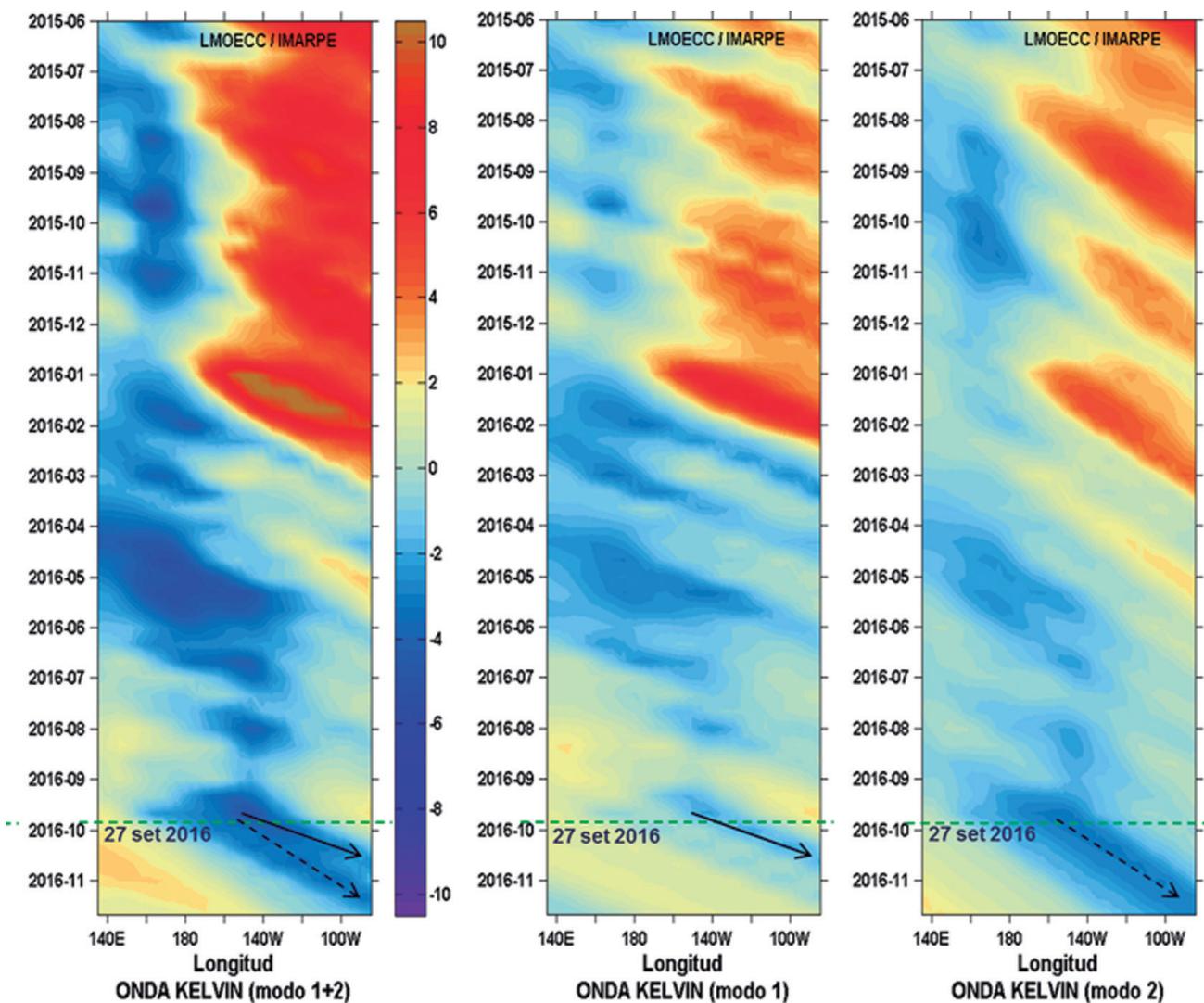


Figura 2.- Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (contribución conjunta de los modos baroclinicos 1+2 a las anomalías del nivel del mar en cm) en el Pacífico Ecuatorial (0°N). Para cálculo de anomalías se usó el período 2000-2008. Línea discontinua horizontal indica inicio del pronóstico

Figura 3.- Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las Ondas Kelvin Ecuatoriales: modo baroclinico 1 (líneas continuas) y modo baroclinico 2 (líneas punteadas), en el Pacífico Ecuatorial (0°N). Para cálculo de anomalías se usó el período 2000-2008. La línea discontinua horizontal indica el inicio del pronóstico

Tabla 1.- Características de los modelos de pronóstico de efectos de ENOS frente a la costa peruana

Modelo	Empírico	Océano - Atmósfera
Variable pronosticada	ITCP	ITCP
Variables predictoras	VAC e IAPS	Vientos (NCEP)
Método	Modelo empírico basado en el volumen de agua cálida ecuatorial	Modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia
Relación funcional	Lineal	Lineal
Horizonte de pronóstico	4 meses	4 meses
Ventajas	Depende principalmente del comportamiento del volumen de agua cálida ecuatorial y de la intensidad del APS.	Depende de la interacción océano-atmósfera en el Pacífico Tropical.
Desventajas	Alta variabilidad de las previsiones. Desfase funcional fijo.	Sensible a vientos del oeste.

Los pronósticos del ITCP con el modelo empírico indican condiciones neutras entre octubre 2016 y enero 2017 (Tabla 2, Fig. 4). En este horizonte, el valor del ITCP simulado sería mínimo en diciembre 2016 (Tabla 2).

Pronóstico del ITCP usando un modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia

Se usó un modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia del Pacífico Tropical (DEWITTE et al. 2002, GUSHCHINA et al. 2000), usando un modelo atmosférico estadístico y una relación empírica entre la AN3.4 simulada y el ITCP, para realizar el pronóstico del ITCP para un horizonte de 4 meses.

Los pronósticos del ITCP indican una tendencia a seguir disminuyendo dentro del rango de las condiciones neutras entre octubre 2016 y enero 2017

(Tabla 3, Fig. 5). En este horizonte, el valor del ITCP simulado sería mínimo en diciembre 2016 (Tabla 3).

Tabla 2.- Condición mensual de los pronósticos del ITCP mediante un modelo empírico

Mes / Año	ITCP simulado	Condición mensual
oct-16	-0,18	Neutra
nov-16	-0,09	Neutra
dic-16	-0,25	Neutra
ene-17	0,03	Neutra

Tabla 3.- Condición mensual de los pronósticos del ITCP mediante el modelo océano-atmósfera acoplado.

Mes / Año	ITCP simulado	Condición mensual
oct-16	-0,37	Neutra
nov-16	-0,41	Neutra
dic-16	-0,41	Neutra
ene-17	-0,40	Neutra

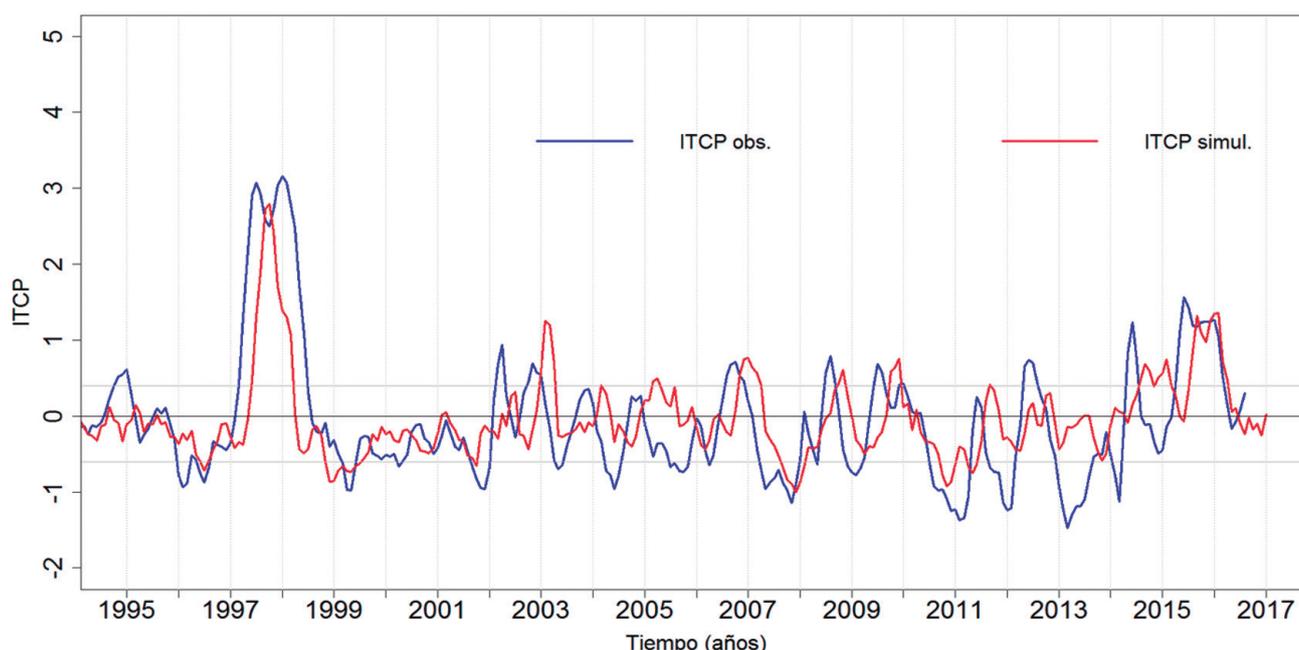


Figura 4.- Pronóstico del ITCP mediante un modelo empírico, con datos actualizados hasta setiembre 2016

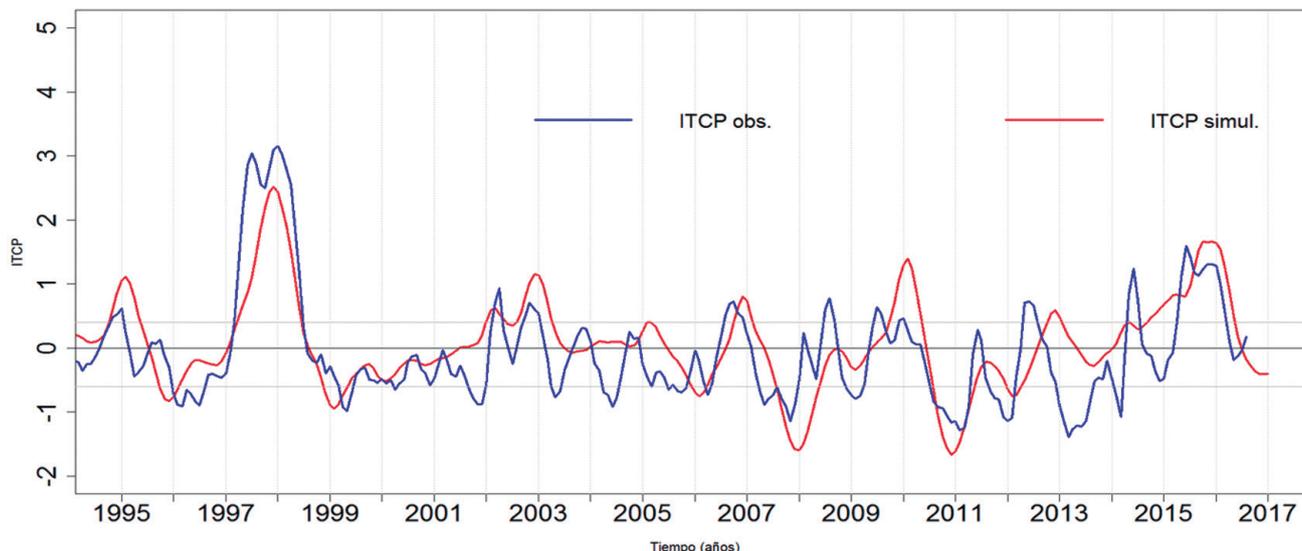


Figura 5.- Pronóstico del ITCP mediante el modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia con datos actualizados hasta setiembre 2016

2. CONCLUSIONES

Los indicadores oceanográficos y atmosféricos del Pacífico Sudeste, durante el trimestre JAS (julio, agosto, setiembre) 2016, permitieron conocer que el Índice Térmico Costero Peruano (ITCP) presentó condición neutra, el índice del Anticiclón del Pacífico Sur (IAPS) también presentó condición neutra, el índice del Área de Afloramiento (IAA) presentó condición baja, y el Índice de Clorofila Superficial (ICS) presentó condición alta.

La simulación de la propagación de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (OKE) a lo largo del Pacífico Ecuatorial pronosticó el arribo de una OKE fría (modo 1) a las costas de Sudamérica en octubre 2016, que no se produjo y, el arribo de una OKE fría modo 2, que sí se produjo en noviembre 2016.

Los pronósticos del Índice Térmico Costero Peruano (ITCP) usando el modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia, basado en forzantes del Pacífico Ecuatorial indicó condiciones neutras entre octubre 2016 y enero 2017, así mismo el modelo empírico basado en el volumen de agua cálida ecuatorial y el anticiclón del Pacífico Sur indicó condiciones neutras entre octubre 2016 y enero 2017.

El presente informe de avance se elaboró con fines de investigación por lo que es de carácter referencial para el trimestre julio, agosto, setiembre 2016.

3. REFERENCIAS

- DEWITTE B, GUSHCHINA D, DUPENHOAT Y, LAKEEV S. 2002. On the importance of subsurface variability for ENSO simulation and prediction with intermediate coupled models of the Tropical Pacific: A case study for the 1997-1998 El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), 1666, 10.1029/2001GL014452.
- GUSHCHINA D, DEWITTE B, PETROSSIANTS MA. 2000. A coupled ocean-atmosphere model of tropical Pacific: The forecast of the 1997-1998 El Niño Southern Oscillation. *Izvestiya atmospheric and oceanic physics.* 36(5): 533-554.
- ILLIG S, DEWITTE B, AYOUB N, DUPENHOAT Y, REVERDIN G, DE MEY P, BONJEAN F, LAGERLOEF G S E. 2004. Interannual long equatorial waves in the Tropical Atlantic from a high resolution OGCM experiment in 1981-2000, *J. Geophys. Res.* 109 (C2): C02022.
- IMARPE, Serie de informes del Grupo de Trabajo El Niño - Abril 2016. En Línea: http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_gti_infor_abril2016.pdf
- KALNAY E, KANAMITSU M, KISTLER R, COLLINS W, DEAVEN D, GANDIN L, IREDELL M, SAHA S, WHITE G, WOOLLEN J, ZHU Y, LEETMAA A, REYNOLDS R, CHELLIAH M, EBISUZAKI W, HIGGINS W, JANOWIAK J, MO K C, ROPELEWSKI C, WANG J, JENNE R, JOSEPH D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77: 437-471.
- MATELLINI B, TAM J, QUISPE C. 2007. Modelo empírico para previsión de la temperatura superficial del mar peruano. *Rev. peru. biol.* 14: 101-108.
- NOAA. 2004. NOAA's new global climate forecast system increases confidence that weak El Niño conditions are developing. On-line: <http://www.noaanews.noaa.gov/stories2004/s2302.htm>.
- QUISPE C, TAM J, CHAMORRO A. 2014. Modelado y pronóstico de ondas Kelvin ecuatoriales. p.97. En: UPCH (Ed.). Libro de resúmenes del IV Congreso de Ciencias del Mar (IV CONCIMAR). 366 p.

- QUISPE-CCALLUARI C, TAM J, DEMARCO H, ROMERO C, ESPINOZA-MORRIBERÓN D, CHAMORRO A, RAMOS J, OLIVEROS-RAMOS R. 2016. El Índice Térmico Costero Peruano (ITCP). Bol. Trim. Oceanog. IMARPE. 2: 7-11.
- 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.
- ROMERO C, CHAMORRO A, ESPINOZA-MORRIBERON D, TAM J. 2014. Variación estacional e interanual de Indicadores de afloramiento frente a la costa central del Perú. p.191. En: UPCH (Ed.). Libro de resúmenes del IV Congreso de Ciencias del Mar (IV CONCIMAR). 366 p.
- TAO (TROPICAL ATMOSPHERE OCEAN PROJECT). 2016. Data Display. NOAA. Pacific Marine Environmental Laboratory. En línea: www.pmel.noaa.gov/tao/jsdisplay.