



PERÚ

Ministerio  
de la Producción

Instituto del Mar  
del Perú



**PROGRAMA PRESUPUESTAL N° 0068 “REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES”, CON PRODUCTO “ENTIDADES INFORMADAS EN FORMA PERMANENTE Y CON PRONÓSTICO FRENTE AL FENÓMENO EL NIÑO”.**

## **“ESTUDIO Y MONITOREO DE LOS EFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO EN EL ECOSISTEMA MARINO FRENTE AL PERÚ”**

**Boletín Trimestral Oceanográfico, Volumen 1, Números 1 - 4**

2015

# ANOMALÍAS DEL PERFIL VERTICAL DE TEMPERATURA DEL PUNTO FIJO PAITA COMO INDICADOR DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS KELVIN

TONY ANCULLE<sup>1</sup>, DIMITRI GUTIÉRREZ<sup>1</sup>, ALEXIS CHAIGNEAU<sup>2</sup>, FRANCISCO CHAVEZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dirección General de Investigación en Oceanografía y Cambio Climático, IMARPE

<sup>2</sup>Institut de Recherche pour le Développement, IRD, Francia

<sup>3</sup>Monterey Bay Aquarium Research Institute, EEUU

## RESUMEN

La propagación frecuente de ondas Kelvin de hundimiento o “downwelling” atrapadas a la costa, suele caracterizar la ocurrencia de El Niño costero frente al Perú. Estas ondas causan la elevación del nivel del mar y se asocian a la profundización de la estructura vertical sub-superficial de la columna de agua, influenciando en la fertilidad del afloramiento costero. En el presente estudio se describe la variabilidad mensual de la estructura vertical de la columna de agua frente a la costa de Paita-Piura y se comparan con anomalías del nivel del mar frente a Galápagos y en la costa norte del país. Para tal propósito se calculó una climatología con la base de datos histórica de temperatura del punto fijo de Paita, puesta a disposición por el Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), para el periodo 1994-2010. Luego de la remoción de datos extremos dudosos, se realizó una interpolación vertical de los datos cada 10 m y una climatología de los datos a frecuencia mensual. La serie de tiempo de anomalía de temperatura muestra una gran consistencia con el arribo de ondas Kelvin a las costas de Sudamérica, por lo cual su monitoreo es de gran utilidad para la alerta temprana de El Niño.

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones oceanográficas y atmosféricas frente a Perú se caracterizan por presentar cada cierto tiempo la presencia de eventos El Niño, que originan fuertes impactos ambientales y económicos en el país. Los eventos El Niño están acompañados por la propagación de ondas Kelvin de hundimiento, desde la zona ecuatorial central-occidental hacia la zona oriental del Pacífico, las que arriban con diferente magnitud frente a las costas de Perú. El denominado punto fijo Paita (PFP), localizado a 7 mn de Paita, se encuentra estratégicamente ubicado para el monitoreo de las anomalías oceanográficas de origen ecuatorial. Por ello, el objetivo general de este trabajo es establecer una serie de tiempo de anomalía del perfil vertical de temperatura del PFP, que permita detectar el arribo de ondas Kelvin a las costas de Perú y así establecer un indicador de alerta temprana de eventos El Niño tipo costero.

## METODOLOGÍA

**Área de Estudio.** El Punto Fijo Paita (PFP) está ubicado en las coordenadas geográficas 05°04'S y 81°16'W, a 7 mn frente a Paita-Piura en la plataforma continental, que presenta unos 100 m de profundidad en la columna de agua (Figura 1).

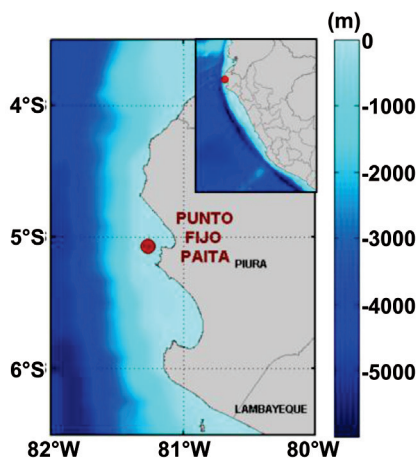


Figura 1. Ubicación del Punto Fijo Paita (rojo), sobre la batimetría de la región frente a la costa norte (ETOPO 1).

**Datos.** El monitoreo del PFP fue iniciado por el Dr. Francisco Chávez, quien lo condujo primero con una frecuencia de entre 2 y 3 días entre 1982 y 1984 en el marco de su investigación de doctorado en la Universidad de Duke y luego con una frecuencia semanal a quincenal hasta mayo de 2013, ya bajo un programa científico del Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI).

En un principio (julio 1982 a julio 1993) la temperatura se registraba a profundidades de 0, 10, 25 y 60 m de profundidad. Los datos a 100m se registraron entre julio de 1993 a mayo de 2013. A partir de 30 de abril de 2014, el IMARPE tomó a su cargo el monitoreo del PFP, en el marco del proyecto presupuestal 068, asociado al “Estudio y Monitoreo del Efecto del Fenómeno El Niño en el Ecosistema Marino”.

Desde entonces, el monitoreo se lleva a cabo con una frecuencia de 15 días, comprendiendo la capa de los primeros 100 m de profundidad.

Los datos de temperatura, salinidad y oxígeno son recopilados actualmente mediante sensores CTD con una resolución vertical de 1m, así como con botellas Niskin a 10, 25, 50, 60, 75 y 100 m de profundidad. Para el cálculo de la climatología de temperatura hasta los 100 m de profundidad, se dispuso de la base de datos histórica de MBARI desde 1994 hasta el 2010.

**Análisis Exploratorio de datos.** Los datos de temperatura se analizaron por cada mes y profundidad, descartándose aquellos que variaran más de tres veces la desviación estándar respecto a la media (0.3% de los datos).

Posteriormente se calculó los promedios por cada mes y profundidad (Tabla 1). Para corroborar la calidad de los datos del PFP, estos fueron comparados con la base de datos histórica de IMARPE (1994-2010) para una región alrededor del PFP (aproximadamente dentro de un radio de 10 km del PFP) por fuera de los 81.2°W. Se procedió a calcular el promedio espacial y mensual de los datos históricos de IMARPE y comparar con los promedios mensuales de temperatura del PFP, alcanzándose una alta correlación de 0.98, lo cual garantiza la confiabilidad de los datos del PFP.



**Tabla 1.** Cantidad de datos, promedio y desviación estándar de la temperatura por mes y profundidad.

	0m			10m			25m			60m			100m		
	N	$\bar{x}$ (°C)	$\sigma$ (°C)	N	$\bar{x}$ (°C)	$\sigma$ (°C)	N	$\bar{x}$ (°C)	$\sigma$ (°C)	N	$\bar{x}$ (°C)	$\sigma$ (°C)	N	$\bar{x}$ (°C)	$\sigma$ (°C)
ENE	75	19.440	2.682	74	18.492	2.430	74	17.609	2.350	71	15.927	1.198	71	14.939	0.587
FEB	68	22.122	2.294	68	21.297	2.345	68	19.690	2.801	66	16.759	2.024	64	15.278	0.786
MAR	73	21.668	2.662	73	21.084	2.558	73	19.671	2.538	73	17.105	2.622	69	14.945	0.370
ABR	74	19.318	2.609	73	18.795	2.295	72	17.996	1.875	72	16.342	1.547	72	14.787	0.422
MAY	84	18.214	2.188	84	17.977	2.201	85	17.582	2.198	84	16.279	1.966	77	14.782	0.621
JUN	68	16.932	1.404	68	16.622	1.396	68	16.209	1.317	67	15.301	0.822	67	14.636	0.270
JUL	74	16.438	1.217	73	16.133	1.053	73	15.726	1.050	73	15.048	0.590	73	14.530	0.366
AGO	72	16.204	1.110	71	15.941	0.996	71	15.614	0.898	72	15.046	0.889	71	14.492	0.614
SEP	70	15.900	1.427	70	15.704	1.406	70	15.356	1.205	68	14.704	0.557	68	14.343	0.382
OCT	74	16.477	1.812	75	16.207	1.692	74	15.699	1.454	71	14.779	0.618	67	14.399	0.482
NOV	70	16.970	2.065	70	16.613	1.949	69	16.071	1.683	68	15.218	1.153	67	14.615	0.469
DIC	70	17.494	2.070	70	17.071	1.978	69	16.426	1.607	69	15.470	1.188	69	14.757	0.666

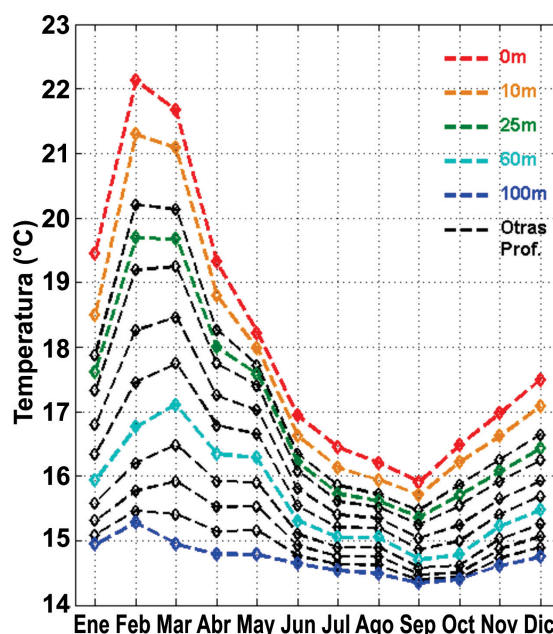
**Interpolación vertical.** Una vez establecidas las climatologías mensuales a las profundidades de 0, 10, 25, 60 y 100 m, se procedió a realizar una interpolación en la vertical en 12 niveles entre 0 y 100 m de profundidad. La interpolación vertical se realizó utilizando una versión modificada del algoritmo de REINIGER y ROSS (1968), que se basa en una interpolación parabólica utilizando un polinomio de Lagrange de orden 2. Esto permitió obtener una climatología de temperatura del PFP a 0, 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 m de profundidad.

**Anomalía y grillado.** La anomalía fue obtenida como la diferencia entre el valor de temperatura registrada por el CTD respecto a la temperatura climatológica del PFP para cada mes y profundidad respectivamente. Posteriormente los datos fueron ordenados espacial y temporalmente, para lo cual se realizó una interpolación tipo kriging ordinaria, en base a un modelo de variograma lineal, obteniéndose una grilla de cada 7 días en el eje horizontal y cada 5m en el eje vertical. De este modo se obtuvo una serie de tiempo semanal de anomalías en toda la vertical de 0 a 100 m de profundidad desde 1994.

**Comparación con datos de la anomalía del nivel medio del mar.** Se calculó los promedios mensuales de anomalía del nivel medio del mar en un cuadro de 0.5° x 0.5° centrado en 0.125°S y 90.125°W (Galápagos), así como en la franja costera de 100 km en la zona norte (05-07°S). Luego, se comparó dichos datos con los promedios mensuales de anomalía de temperatura en el perfil vertical del PFP, para el periodo de enero de 1994 a diciembre de 2010.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra la climatología de temperatura del PFP, donde se observa que la máxima temperatura promedio se registra en el mes de febrero en las capas 0-25 m y 90-100 m y en el mes de marzo para la capa de 30-80 m. En contrario, la mínima de temperatura se observa en septiembre para todas las profundidades. La máxima variación anual de temperatura (más de 6°C) se produce en la superficie, a comparación de las demás profundidades, presentando un valor máximo de 22.1°C y mínimo de 15.9°C. Por otro lado a 100 m la amplitud del ciclo anual de la temperatura se reduce a 1°C, variando de una temperatura máxima de 15.3°C y mínima de 14.34°C.



**Figura 2.** Climatología del PFP para las profundidades de 0, 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 m.

Las correlaciones mensuales entre las anomalías de temperatura (AT) y la anomalía del nivel medio del mar (ANMM) en Galápagos y la zona norte, exhibieron valores significativos ( $r > 0.78$ ) en toda la columna de agua para todo el periodo. No obstante, al remover el periodo de El Niño extraordinario de 1997-98, las correlaciones para las profundidades de 0, 10, 25, 60 y 100 m en Galápagos son de 0.62, 0.66, 0.64, 0.49 y 0.50 respectivamente; mientras que para la zona norte a las mismas profundidades son 0.65, 0.70, 0.68, 0.48 y 0.45 respectivamente.

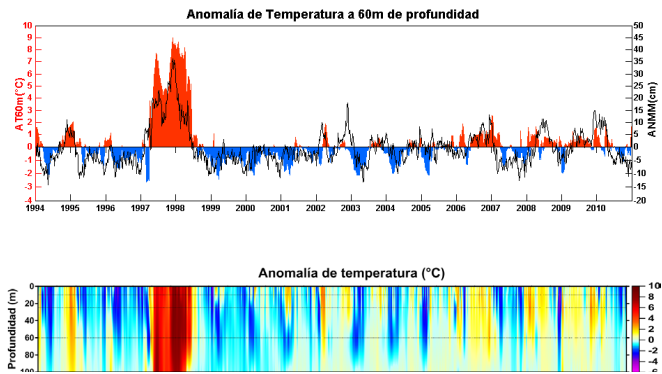
En la Figura 3a se presentan las series de tiempo de AT60 m y ANMM en Galápagos de enero 1994 a diciembre 2010, cuya correlación alcanza 0.78 para todo el periodo de estudio; la correlación con la ANMM en la zona norte alcanza 0.82 (no mostrado).

Estos resultados corroboran que el arribo de las ondas Kelvin

de hundimiento frente a la costa sudamericana se manifiesta con ANMM positiva y a su vez como una profundización de la estructura vertical de la columna de agua.

El arribo de ondas Kelvin de hundimiento ocurridas entre 1997 y 1998 (El Niño Extraordinario) se manifestaron claramente en AT60 m de hasta +9°C, como resultado de la profundización de la estructura vertical.

Así mismo, entre 2006 y 2007 (El Niño Moderado), se evidenciaron AT60 m de hasta +3°C (Figura 3b).



**Figura 3.** a) Serie de tiempo de AT60 m (rojo y azul), ANMM frente a Galápagos (línea negra); b) serie de tiempo de anomalía de temperatura del PFP, para el periodo de enero de 1994 a diciembre de 2010.

## CONCLUSIONES

La climatología de temperatura calculada a diferentes profundidades, muestra un ciclo anual marcado con máximos valores entre febrero y marzo y su mínimo valor en el mes de septiembre, reduciéndose la amplitud anual conforme aumenta la profundidad.

La serie de tiempo de anomalía de temperatura en el perfil vertical del PFP, muestra una alta correlación con las series de ANMM en la zona norte y frente a Islas- Galápagos, por lo cual se concluye que la anomalía de temperatura en el perfil vertical del PFP es un buen indicador del arribo de ondas Kelvin frente a la costa de Perú.

Es necesario continuar y profundizar el análisis con una mayor resolución temporal, para identificar las frecuencias dominantes, el tiempo de desfase asociado a la propagación de la onda Kelvin y su evolución temporal en las señales de ANMM y de AT a lo largo del perfil vertical; cabe indicar que estos análisis ya se han iniciado.

## REFERENCIAS

IMARPE. Serie mensual de informes del Grupo de Trabajo El Niño.

REINIGER R F AND ROSS C P. 1968: A method of interpolation with application to oceanographic data. Deep Sea Res., 15(2), 185-193.