



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	

IMPACTOS DEL ENSO EN LA BIOGEOQUÍMICA DEL SISTEMA DE AFLORAMIENTO FRENTE A PERÚ CENTRAL, FEBRERO 2013-DICIEMBRE 2015

MICHELLE GRACO, DAVID CORREA, WALTER GARCIA, MIGUEL SARMIENTO

Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, IMARPE

INTRODUCCIÓN

El ecosistema de afloramiento frente a Perú, tiene características que le confieren propiedades únicas y relevantes en el contexto regional y global. Entre sus propiedades biogeoquímicas se destaca la presencia de i) una alta productividad consecuencia de aguas ricas en nutrientes, ii) una extensa y somera Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) y iii) un alto reciclaje y pérdida de nitratos, asociado a los procesos de productividad como a la remineralización de la materia orgánica. Todas estas características están inmersas en una alta variabilidad temporal, observándose cambios significativos a escala interanual asociados con el ciclo ENSO y su fase cálida El Niño y fría La Niña.

En este contexto, desde el año 2013, la DGIOCC de IMARPE desarrolla el proyecto “Estudio integrado del Afloramiento Costero frente a Perú Central”, con la finalidad de caracterizar el afloramiento costero, sus forzantes y sus características físico-químicas y biológicas en una gradiente costa-océano. En este artículo, se presentan resultados de las condiciones químicas del afloramiento frente a Callao, poniendo en evidencia el impacto del ciclo El Niño Oscilación del Sur (ENSO) que se desarrolló entre los años 2013 y 2015.

AREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

El área de estudio del proyecto comprende la zona central de Perú frente a Callao (12°S), en una transecta de siete estaciones costa-océano hasta 50 mn. La frecuencia de muestreo fue bimestral (Fig. 1). Callao se caracteriza por la ocurrencia de un intenso afloramiento costero permanente, con un régimen de vientos máximos en invierno y altas tasas de productividad entre los meses de verano y otoño. Esta alta productividad está asociada a la presencia de las aguas afloradas (aguas costeras frías), reconocidas por sus altos valores en nutrientes y su condición de déficit en oxígeno (ZUTA y GUILLÉN, 1970; GRACO *et al.*, 2007, LEDESMA *et al.*, 2011).

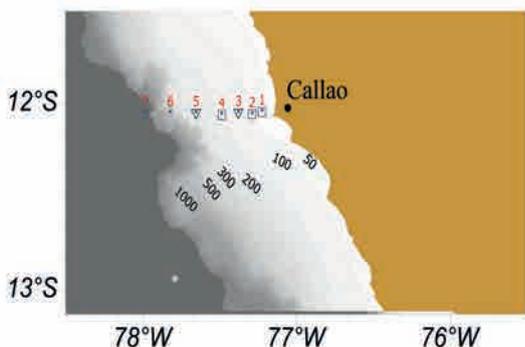


Figura 1. Ubicación de estaciones de la línea CALLAO, Callao (E1-E7).

Se presentan datos de temperatura, salinidad, oxígeno, nutrientes y clorofila a frente a Callao. Las condiciones físicas, temperatura y salinidad se obtuvieron utilizando un CTD (Seabird SBE 19+). Paralelamente a las variables físicas, se colectaron muestras de agua con roseta, en los niveles estándar: 0, 10, 20,30, 50, 75, 100, 150, 200,300, 500 y agua de fondo.

Las muestras de agua fueron destinadas para analizar oxígeno disuelto a bordo, mediante el método de Winkler y para clorofila-a y nutrientes que se analizaron en el laboratorio de hidroquímica según los protocolos del Área Funcional de Investigaciones en Oceanografía Química y Geología (AFIOQG)

RESULTADOS

Condiciones oceanográficas y variabilidad de las condiciones químicas frente a Callao durante el ENSO 2013-2015

En el año 2013, la costa peruana presentó condiciones predominantemente frías, alcanzando un rango de Niña Débil con anomalías negativas de hasta $-3,0^{\circ}\text{C}$.

Durante los años 2014 y 2015, se presentaron condiciones de Niño costero de magnitud moderada (ENFEN, 2013-2014) y de magnitud fuerte (ENFEN, Junio - Julio 2015) respectivamente.

Estas condiciones se observaron frente a Callao y respondieron a cambios en el acoplamiento océano-atmósfera.

La actividad del ENSO presentó una mayor intensidad desde abril del 2014, ocasionando cambios en el régimen de vientos, el arribo continuo de ondas Kelvin frente a la costa peruana, la profundización de la termoclina, la proyección hacia el sur de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y el acercamiento de las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS).

Este conjunto de factores, determinó alteraciones importantes en las propiedades del afloramiento costero, modificando sus características bioquímicas en el área central de Perú (Callao 12°S).

Durante el año 2013, salinidades menores o iguales a 35,0 fueron dominantes desde la costa hasta 50 mn frente a Callao, con bajas temperaturas superficiales (TSM) en un rango de 15,7 a 19,8 °C y alcanzando anomalías (ATSM) entre $-1,0$ y $-3,0^{\circ}\text{C}$ por dentro de las 20 mn (Fig. 2).

Estas condiciones reflejan el intenso afloramiento costero de Aguas Costeras Frías (ACF, fig. 2) y la posición de la isoterma de 15 °C por encima de los 30 metros e inclusive en superficie (Fig. 5).

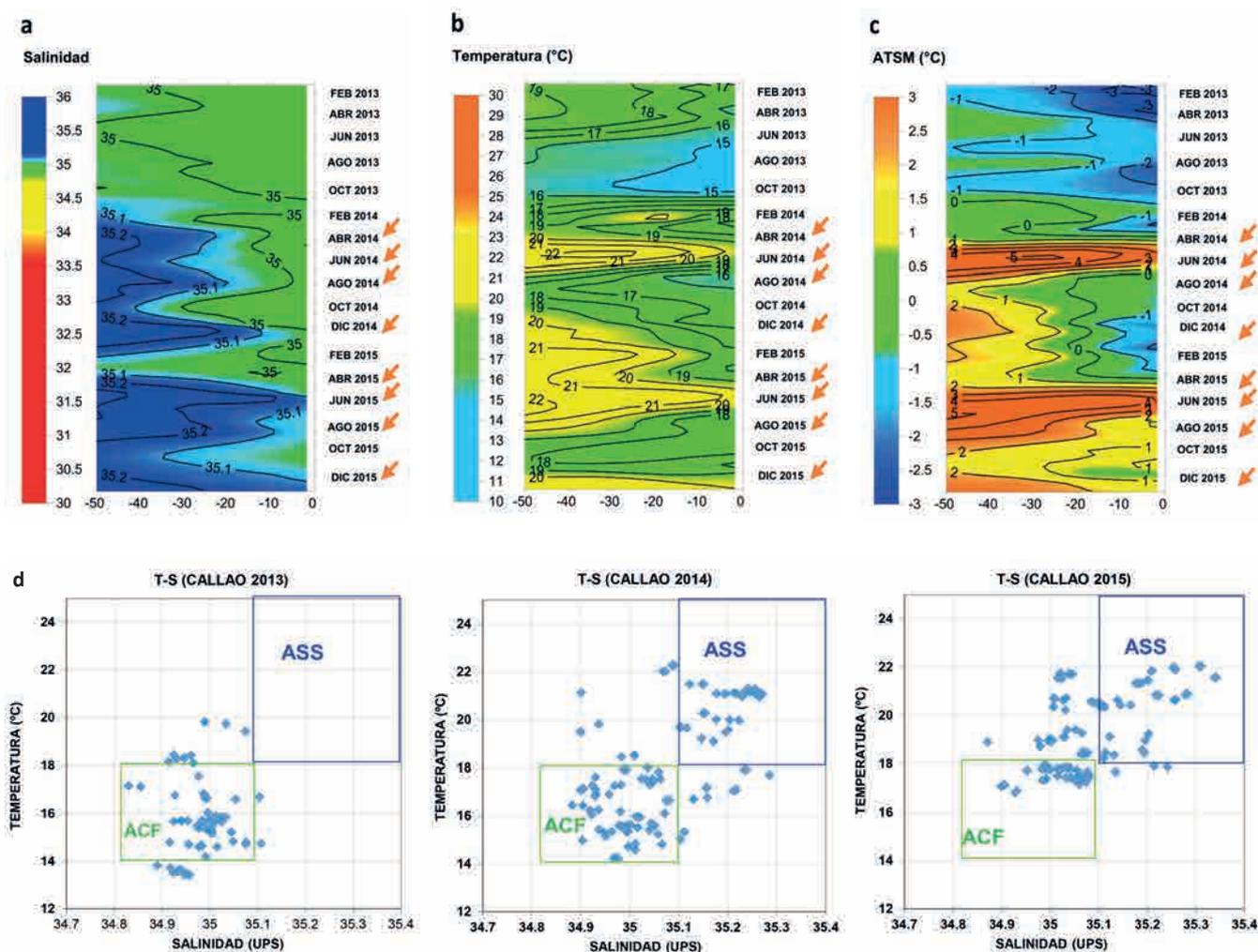


Figura 2. Distribución superficial de a) Salinidad, b) Temperatura, c) Anomalia de Temperatura Superficial (ATSM) del mar y d) diagrama T/S en la línea Callao, entre los años 2013 y 2015. Las flechas indican el arribo de las ondas Kelvin entre 2014-2015 (MORÓN *et al.*, 2015).

Durante los años 2014 y 2015 se observó la presencia de aguas cálidas por la aproximación a la costa de las ASS (salinidad $>35,10$), con temperaturas de 20 a 22°C en la parte oceánica, que se extendieron hacia la costa, lo cual se reflejó en valores de ATSM de +4,0 y +5,0°C (Fig. 2).

La isoterma de 15°C, con la cual se caracteriza la presencia de un activo afloramiento, alcanzó profundidades mayores a 50 m en el año 2014 y por debajo de 100 m en el 2015 (Fig. 5).

La condición química superficial se observa en la Figura 3. El pH reflejó la condición fría del año 2013, predominando valores de muy bajo pH ($< 8,0$) y alcanzando valores de 7,6 en la costa, característicos de aguas recién afloradas a la superficie y de condiciones frías (LEÓN *et al.*, 2011). En los años 2014 y 2015 se presentaron valores más alcalinos, desapareciendo prácticamente los valores menores a 8,0 en todo el 2015.

El oxígeno disuelto presentó valores superficiales bajos ($< 4,0$ mL/L, Fig. 3) en el invierno de 2013 dentro de las 40 mn, indicando la presencia de aguas de afloramiento costero y de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) (LEDESMA *et al.*, 2011). Concentraciones de oxígeno superiores a 5,0 mL/L dominaron la línea Callao durante los años 2014 y 2015, con pequeños núcleos de bajo oxígeno por dentro de las 10 mn en el 2014 y que se redujeron a las primeras millas durante el 2015 (Fig. 3).

En el 2013 la distribución de nutrientes, aspecto clave para la productividad, en el caso de los silicatos presentó valores altos superficiales ($> 30,0\mu\text{M}$) en la costa, coincidiendo con los núcleos de afloramiento, manteniendo valores mayores a $10,0\mu\text{M}$ en las primeras 40 y 30 mn. Desde fin del año 2013 hasta diciembre del año 2015 con excepción de los inviernos, concentraciones de silicatos menores a $5,0\mu\text{M}$ predominaron en toda la línea Callao. En particular esto se observó a inicios del 2014, entre abril y junio del 2015 y en la primavera del mismo año, coincidiendo con el mayor ingreso de las ASS y la propagación de las ondas Kelvin a lo largo de la costa, que se registraron con gran intensidad en abril, octubre y diciembre del 2015 (MORÓN *et al.*, 2015).

Mientras los silicatos reflejaron en mayor medida los cambios en la distribución de masas de agua, los nitratos (no se presentan datos) respondieron a la actividad biológica y a la intensidad y posición de la ZMO y presentaron un ciclo más complejo. En el 2013, predominaron concentraciones de nitratos menores a $5\mu\text{M}$ e incluso cercanos a cero como consecuencia de la alta incorporación y/o transformación biológica en presencia de una intensa ZMO. Durante el 2014 y en particular en el 2015 las concentraciones de nitratos se incrementaron ($> 10\mu\text{M}$) en toda la línea Callao, indicando un menor consumo costero de este nutriente que podría asociarse con la profundización de la ZMO (Fig. 5).

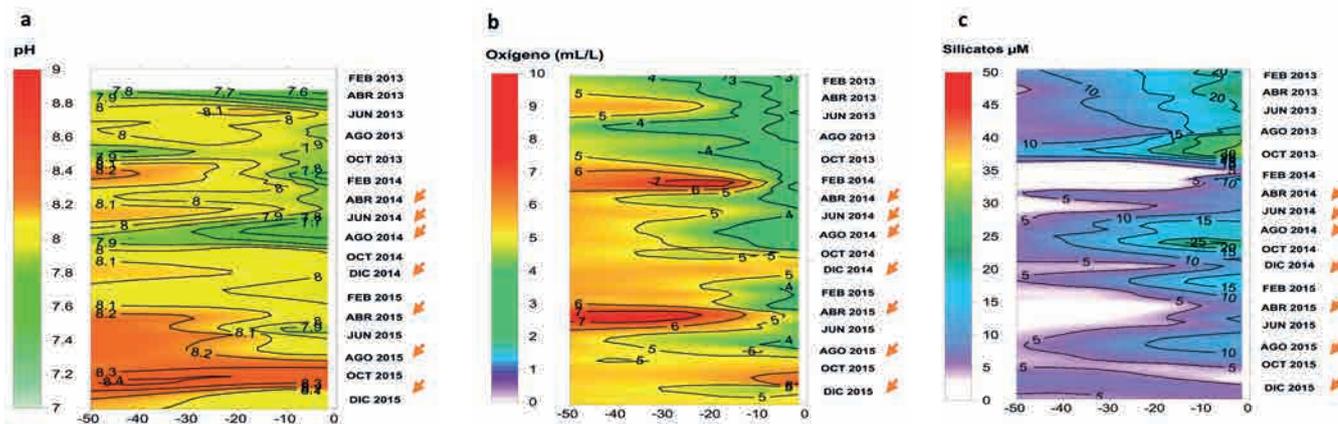


Figura 3. Distribución superficial de pH, Oxígeno disuelto (mL/L) y Silicatos (μM) en la línea Callao, entre los años 2013 y 2015. Las flechas indican el arribo de las ondas Kelvin entre 2014-2015 indicado en MORÓN *et al.*, 2015.

La variabilidad durante el ENSO en las concentraciones de nutrientes y en su reciclaje se reflejó en la proporción de nitrógeno/fósforo (N/P) que en el 2013 presentó valores significativamente menores que en el 2014 y 2015. En el caso de la estación más oceánica (50 mn), en el 2013 la proporción N/P fue de 4, mientras en 2014 y 2015 presentó valores mayores a 10 (Fig. 4), acercándose a la clásica razón de Redfield de 16 o al promedio para el área de 12,6 (GRACO *et al.*, 2007).

Durante 2014 y 2015 los altos valores de N/P podrían asociarse a la profundización de la ZMO lo cual determinaría un menor reciclaje y pérdida de nitrógeno comparado con el año 2013 en que la ZMO tuvo una distribución más somera favoreciendo una mayor pérdida de nitrógeno (Fig. 5).

Con relación a la productividad, las concentraciones de clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$) y clorofila-a integrada en la columna de agua (mg/m^2) a lo largo de la línea Callao fueron en promedio bajas, con valores menores a $4,0\mu\text{g/L}$ (hasta $1\mu\text{g/L}$) y a $70,0\text{ mg/m}^2$ durante el período de estudio. Durante los años cálidos se observa cierto incremento con respecto al año 2013. Durante la primavera del año 2014 las estaciones costeras presentaron valores de hasta $10,0\mu\text{g/L}$, mientras en el 2015 durante el verano y la primavera toda la línea Callao presentó valores mayores a $2,0\mu\text{g/L}$ (Fig. 4). Esta mayor productividad se asocia con una mayor razón N/P y una mayor disponibilidad de nitratos.

Variabilidad de la Zona de Mínimo Oxígeno frente a Callao

Los cambios asociados con el efecto de las ondas Kelvin y la profundización de la termoclina se pueden evidenciar en la distribución vertical del oxígeno y de la ZMO. En la figura 5 se presenta la distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L) frente a Callao en 2013, 2014 y 2015, indicándose la base de la distribución de la oxiclina ($1,0\text{ mL/L}$) y el borde de la ZMO ($< 0,5\text{ mL/L}$), además de la profundidad de la isoterma de 15°C como un indicador de las ACF.

En el año 2013, tanto en abril como en agosto, la oxiclina se presentó muy somera tanto en la costa como en la parte oceánica, su distribución por encima de los 20 m coincidió con la distribución de la isoterma de 15°C . En los años 2014 y 2015 se observó un patrón diferente. Por un lado, en abril (otoño) 2014 y 2015 en la costa, primeras mn, se observaron condiciones deficientes en oxígeno disuelto cerca de la superficie profundizándose la ZMO por fuera de las 20 mn hasta 50 m. Mientras en la parte oceánica, la profundización de la ZMO coincide con la distribución profunda de la isoterma de 15°C y la presencia de ASS, en la costa existe un desacoplamiento entre la temperatura y la del oxígeno disuelto. Esto probablemente es resultado de la intensificación hacia el sur de la Corriente Subsuperficial Perú-Chile y del arribo de la onda Kelvin, que en primera instancia solo modifica la estructura térmica vertical. En junio 2014, bajo el impacto de la onda

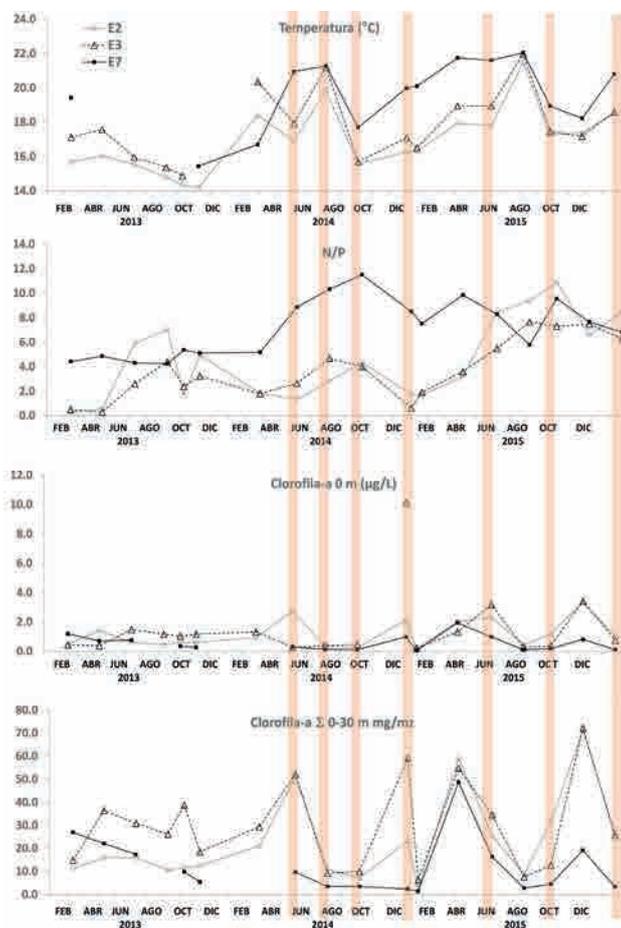


Figura 4. Serie de tiempo de la temperatura, la relación nitrógeno/ fósforo (N/P) y de las concentraciones de clorofila-a $\mu\text{g/L}$ superficial en las estaciones 2, 3 y 7 frente a Callao, entre los años 2013 y diciembre 2015. Partes sombreadas indican los meses en que impactaron las ondas Kelvin

Kelvin, la ZMO se observó por debajo de 100 m, lo que también se observó en agosto 2014 y 2015, coincidiendo con la distribución profunda de la isoterma de 15°C. En diciembre 2015 nuevamente se observa la profundización de la ZMO, coincidiendo lo indicado por los reportes ENFEN sobre el impacto en la costa peruana de una onda kelvin (ENFEN, diciembre 2015).

Los cambios en la ZMO impactan el ciclo del nitrógeno tal como lo evidencia el déficit de nitrógeno (Ndef) en la línea Callao (Fig. 6), que es el cálculo del nitrógeno que se espera en el ambiente conociendo la concentración de fósforo y la razón N/P en el área de 12.6 (GRACO *et al.*, 2007). Durante el ciclo ENSO se observaron dos condiciones diferentes. En el 2013, año frío, se observaron los mayores déficits de nitratos (> 30 μM) tanto en la costa como asociados a la plataforma,

es decir el mayor consumo o pérdida de nitratos. Durante los años 2014 y 2015 se observan menores valores de déficit de nitratos, los cuales disminuyen significativamente en el 2015 alcanzando valores cercanos a cero. Estos déficits indican que en el 2015 hubo mayor disponibilidad de nitratos que en el 2013, lo cual coincidió con altos valores de N/P mayores a 10 e incluso de 15. Estos bajos déficits y la mayor disponibilidad de nitratos podrían asociarse a un menor consumo o reciclaje por desnitrificación o anammox en presencia de una ZMO profundizada, el predominio de ASS y la profundización de las ACF (isoterma de 15°C). Esta disponibilidad de nitratos, sumada a otras características, podría favorecer cierto incremento en la productividad comparado con lo observado durante el período 2013 en condiciones frías y de intenso afloramiento costero.

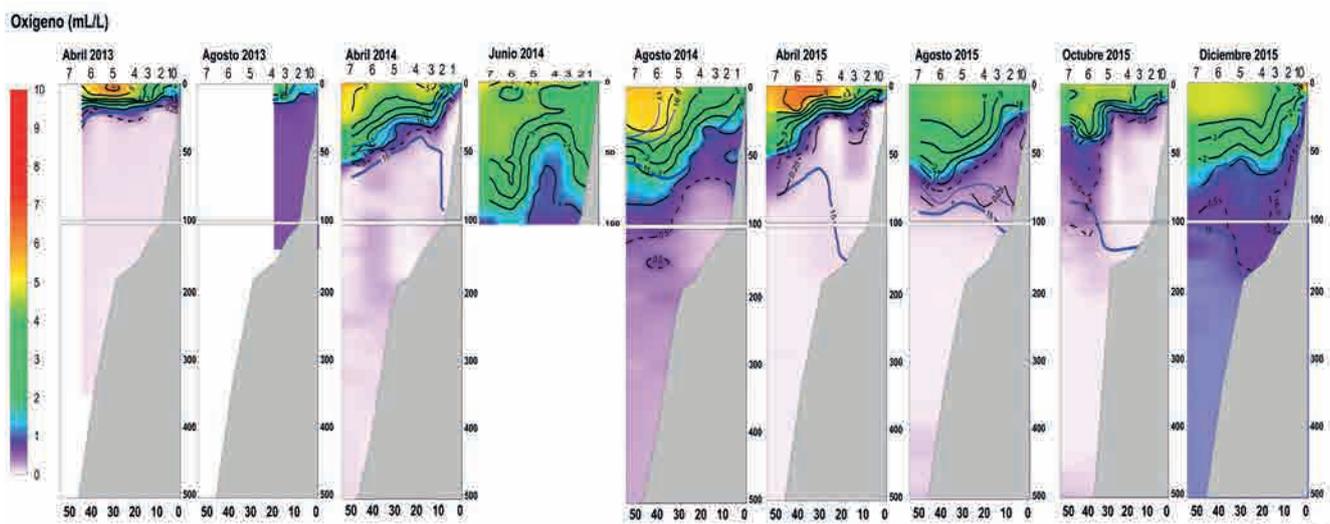


Figura 5. Distribución vertical de oxígeno disuelto en la línea Callao entre los años 2013, 2014 y 2015.

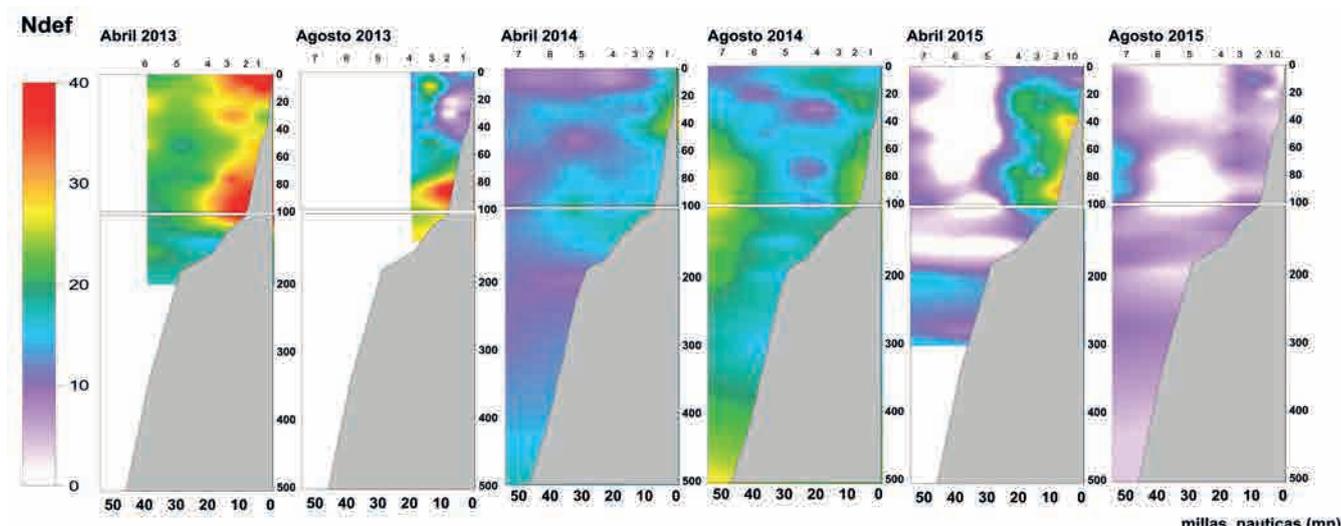


Figura 6. Distribución vertical de déficit de nitrógeno (Pconc. * 12.6)- Nconc, en la línea Callao entre los años 2013, 2014 y 2015.

CONCLUSIONES

El ciclo El Niño Oscilación del Sur (ENSO) que se desarrolló entre los años 2013 y 2015 frente a Callao, impactó en las condiciones biogeoquímicas tanto en superficie como en la columna de agua.

Los valores de pH y oxígeno reflejaron durante el 2013 el predominio de un intenso afloramiento costero de ACF. En cambio, durante gran parte de 2014 y 2015, las condiciones frente a Callao fueron más oxigenadas y alcalinas, tanto en superficie como en la columna de agua por el ingreso de las ASS.

Los nutrientes presentaron altas concentraciones de silicatos durante la fase fría del ENSO en el 2013, mientras que la condición intensa y somera de la ZMO (dentro de los 20 m) favoreció una mayor pérdida de nitrógeno y en consecuencia valores menores de N/P.

La fase cálida, 2014 y 2015, mostró bajos silicatos, distribuyéndose desde la parte oceánica hacia la costa, pero un menor déficit de nitratos, es decir mayor disponibilidad de nitratos, condición que se asoció con el acercamiento de las ASS a la costa y la profundización y debilitamiento de la ZMO que en algunos períodos alcanza más de 100 m.

La profundización de la isoterma de 15°C y de la ZMO correspondió a la propagación de ondas Kelvin atrapadas a la costa frente a Callao durante 2014 y 2015, favoreciendo menores pérdidas de nitrógeno en el sistema y el incremento de la razón N/P.

Las concentraciones de clorofila-a en general, mostraron condiciones de baja productividad, incrementándose durante el 2014 en la costa y en el 2015 en toda la línea frente a Callao.

REFERENCIAS

ENFEN, 2013-2014. Informe técnico ENFEN periodo 2013-2014. http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infteo_enfen_infor_tec2013_2014.pdf

ENFEN, junio 2015. Monitoreo y Pronóstico de El Niño y La Niña. Informe Técnico ENFEN – año 1, N°3, junio 2015. http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infteo_infor_tec_enfe_junio2015.pdf.

ENFEN, julio 2015. Monitoreo y Pronóstico de El Niño y La Niña. Informe Técnico ENFEN – año 1, N°4, julio 2015. http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infteo_infor_tec_enfe_julio2015.pdf.

ENFEN, julio 2015. Monitoreo y Pronóstico de El Niño y La Niña. Informe Técnico ENFEN – año 1, N°9, diciembre 2015. http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infteo_infor_tec_enfe_julio2015.pdf.

GRACO M, LEDESMA J, FLORES G, GIRÓN M. 2007. Nutrientes, Oxígeno y Procesos Biogeoquímicos en el Sistema de Surgencias frente a Perú. *Rev. Perú Biol.* 14(1).

LEDESMA J, TAM J, GRACO M, LEÓN V, FLORES G, MORÓN O. 2011. Caracterización de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) frente a la costa peruana entre los 3° N y 14° S 1999-2009. *Bol. Inst. Mar Perú.* 26(1-2): 49-57 ISSN 0458-7766.

LEÓN V, PAULMIER A, LEDESMA J, CROOT P, GRACO M, FLORES G, MORÓN O, TENORIO J. 2011 pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt. *Bol. Inst. Mar Perú.* 26(1-2): 49-57 ISSN 0458-7766.

MORÓN O, GUTIÉRREZ D, ANCUYE T, LEDESMA J. 2015. Variabilidad de las condiciones oceanográficas en el punto fijo Paita (5° 05' S-81° 16' W), Abril 2014-October 2015. *Boletín Trimestral Oceanográfico*, Volumen 1, N°1-4. Pag. 11-13.

ZUTA S. y GUILLÉN O. 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú.* Vol 2(3). ISSN 0458-7766.