

pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt

pH as a tracer of biogeochemical variability in the Humboldt System

VIOLETA LEÓN¹MICHELLE GRACO¹AURELIAN PAULMIER²GEORGINA FLORES¹JESÚS LEDESMA¹OCTAVIO MORÓN¹PETER CROOT³JOSÉ TENORIO¹

Resumen

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): 19-24.- Se analizó información sobre parámetros biogeoquímicos como pH, CO₂ parcialmente disuelto, clorofila-a, oxígeno, salinidad y temperatura, obtenidos en el Sistema de Humboldt frente a Perú en los años 2007-2009, a fin de comprender la importancia del pH como una variable clave para trazar la variabilidad biogeoquímica del Sistema de Afloramiento de Humboldt. Las Aguas Costeras Frías (ACF) ricas en nutrientes evidencian una relación inversa con el pH, en ese sentido valores de 7,6 a 8,0 se encontraron asociados a la ocurrencia de eventos de afloramiento; en condiciones frías como La Niña 2007 el pH predominante se encuentra por debajo de 8,0, y en el caso de las Aguas Subtropicales Superficiales presentan un pH entorno a 8,3. La productividad en los veranos se incrementa debido a factores como la intensidad de luz generándose núcleos de clorofila-a superiores a 10,0 µg.L⁻¹; como constituyentes de la reacción bioquímica de fotosíntesis se tiene en cuenta la forma inmediata del compuesto CO₂ y el consumo de iones hidronio; en situaciones extremas de fertilización, se tiene elevado pH entre 8,2 e inclusive 9,0, en donde los contenidos de oxígeno disuelto superan los 6,0 mL.L⁻¹.

PALABRAS CLAVE: pH, afloramiento, productividad, Sistema de Humboldt, Perú.

Abstract

LEÓN V, PAULMIER A, LEDESMA J, CROOT P, GRACO M, FLORES G, MORÓN O, TENORIO J. 2011. *pH as a tracer of biogeochemical variability in the Humboldt System*. *Bol Inst Mar Perú*, 26(1-2): 19-24.- We analyzed information on biogeochemical parameters such as pH, CO₂ partially dissolved, chlorophyll-a, oxygen, salinity and temperature, obtained in the Humboldt system off Peru in the years 2007-2009, in order to understand the importance of pH as a variable key to tracing the biogeochemical variability of the Humboldt upwelling System. Cold Coastal Waters (ACF) rich in nutrients show an inverse relationship with pH, in that sense values from 7.6 to 8.0 were associated with the occurrence of upwelling, in cold conditions and La Niña 2007, the pH is predominant below 8.0, and for Subtropical Surface Waters have a pH around 8.3. Productivity in the summer increases due to factors such as light intensity cores generating higher chlorophyll-a to 10.0 µg.L⁻¹, as constituents of the biochemical reaction of photosynthesis takes into account the CO₂ compound immediately and consumption of hydronium ions, in extreme situations of fertilization, has a high pH between 8.2 and even 9.0, where the dissolved oxygen content exceeding 6.0 mL.L⁻¹.

KEYWORDS: pH, upwelling, productivity, System of Humboldt, Perú.

Introducción

Las altas emisiones de CO₂ originadas por la actividad humana, y su incorporación en el océano, resultan preocupantes al desconocer los cambios químicos del océano y el impacto de la acidificación sobre los ecosistemas marinos. En este sentido, la disminución del pH en los océanos ha sido objeto de trabajos (CALDEIRA y WICKETT 2003, ORR et al. 2005) que demostraron que el pH promedio mundial de todos los océanos ha disminuido a lo largo del siglo XX; y de los modelos se predice una mayor disminución en un futuro próximo hasta en 0,5 unidades para el año 2100.

El gran ecosistema marino de afloramiento de Humboldt es uno de los de mayor productividad biológica del mundo (CAÑÓN y MORALES 1985, SUMMERHAYES et al. 1995, GONZÁLEZ et al. 1998, IRIARTE et al. 2000), que se sustenta en los eventos de surgencia que ocurren en forma periódica en la zona costera (SHERMANN 1994, SHAFFER et al. 1997). Los centros de surgencia juegan un rol fundamental en los ciclos geoquímicos y biológicos; son particularmente sensibles al fenómeno de acidificación marina por presentar en forma natural, niveles bajos de pH, asociada a la presencia de Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO) que corresponden a Zona de Máximo de CO₂ (ZMC; PAULMIER et al., 2011). Esta condición de "acidificación natural" es consecuencia de la presencia

¹ Instituto del Mar del Perú. Esq. Gamarra y Gral. Valle. Chucuito, Callao, Perú / Telefax: +51-01-6250800, email: vleon@imarpe.gob.pe

² Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS, IRD, France)

³ Plymouth Marine Laboratory (PML), United Kingdom.

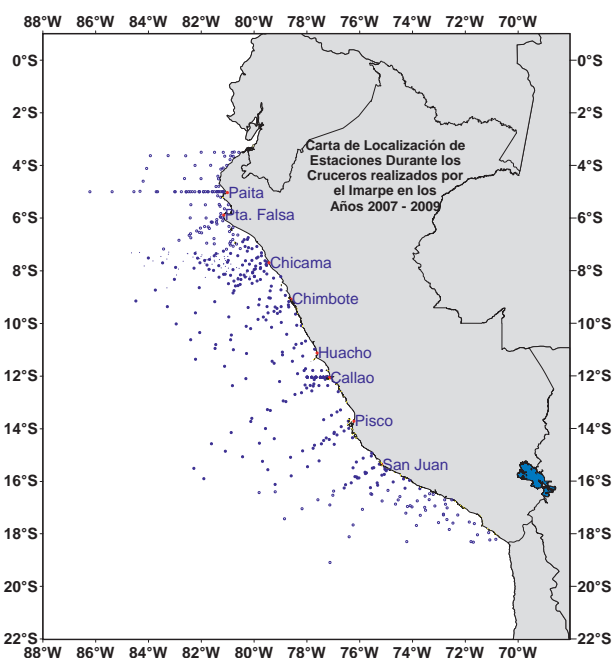


Figura 1.- Carta de Localización de las Estaciones Oceanográficas realizadas por el IMARPE. Cruceros efectuados entre 2007 – 2009. Los datos químicos provienen de diversos cruceros realizados donde se obtuvo información de: Potencial Hidronio (pH), Oxígeno Disuelto, CO₂ Parcialmente Disuelto, Temperatura, Salinidad, Densidad, Clorofila-a y Nutrientes.

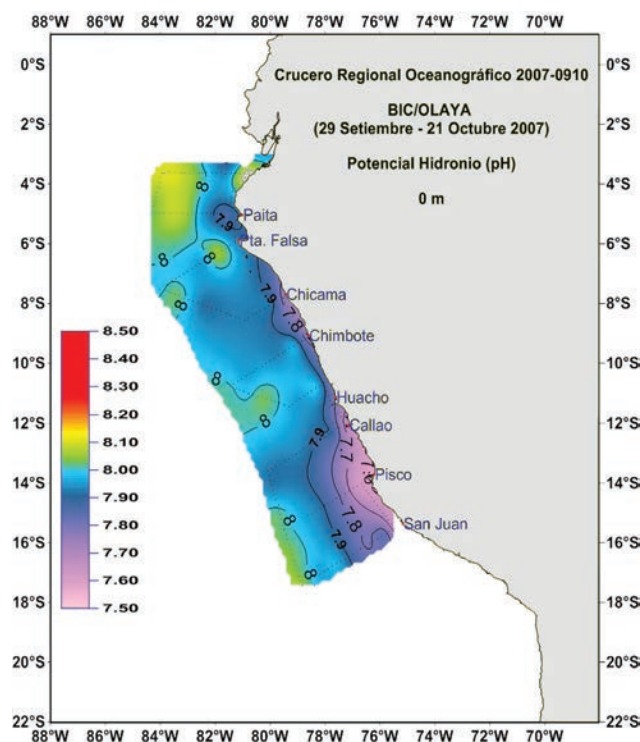


Figura 2.- Distribución Superficial del Potencial Hidronio (pH), Crucero Regional Oceanográfico 0709-10, donde se aprecia los valores de 7,6 a 7,9 asociados al afloramiento costero, enmarcado en La Niña 2007 de primavera, este periodo frío evidencia la disminución del pH en las zonas costeras.

de aguas subsuperficiales que muestran un alto contenido de carbono inorgánico disuelto, las cuales por eventos de surgencia son advectadas a la superficie determinando condiciones de pH inferiores al promedio estimado para el océano mundial (pH 8,1). De acuerdo a esta condición, en el contexto del cambio climático resulta preocupante al desconocer los potenciales efectos de la acidificación para los distintos componentes de un ecosistema y en consecuencia hacen de estas áreas zonas prioritarias de investigación.

Por su parte en el caso particular del Sistema de Afloramiento de Humboldt existe una fuerte variabilidad climática tal como la influencia de los eventos El Niño y La Niña, los cuales determinan una importante dinámica oceanográfica, cambios en la distribución espacial de masas de agua y a su vez los procesos biogeoquímicos claves para el sistema, tal como la producción primaria y el intercambio de CO₂ lo que se espera se refleje en la variabilidad del pH. El propósito de este trabajo es explorar la información integrada en el parámetro de pH, como una variable clave para trazar la Variabilidad Biogeoquímica del Sistema de Humboldt.

Material y métodos

Se utilizaron los datos registrados durante los cruceros de investigación IMARPE en los BICs Olaya y Humboldt de los años 2007 al 2009 (Fig. 1).

La medición del pH se realizó a bordo, con el método de DICKSON (1993), usando la técnica potenciométrica, con un pH-metro Mettler Toledo modelo SevenMulti, que posee un electrodo de vidrio InLab 413 SG/2m. Se colectaron muestras para determinar el oxígeno disuelto, salinidad y clorofila-a. Para la determinación de clorofila-a, las muestras de agua fueron filtradas a bordo, utilizando filtros Wathman GF/F, procesados con el método fluorométrico HOLM-HANSEN (1965).

El oxígeno disuelto se determinó a bordo, por el método de Winkler modificado por CARRIT y CARPENTER (1966). Para la salinidad se usó el método de inducción con el Portasal 8410A Guildline. La temperatura superficial del mar (TSM, °C) se midió con el sensor de temperatura FURUNO modelo T-2000; para las capas sub-superficiales se tomó la información de los registros continuos de CTD, que fueron procesados con el software Seasoft del equipo. Para la determinación del dióxido de carbono parcialmente disuelto en el agua de mar, se empleó el equipo LI-COR/MODELO LI-6262 CO₂: 0-3000 ppm.

Resultados y discusión

La información de pH registrada en los años 2007–2009, relacionándola con variables, como la temperatura, el CO₂ parcialmente disuelto, oxígeno, salinidad y clorofila-a, permite trazar procesos físicos y biogeoquímicos en el ecosistema de Humboldt. Los datos indican una gran variabilidad espacial, en el que

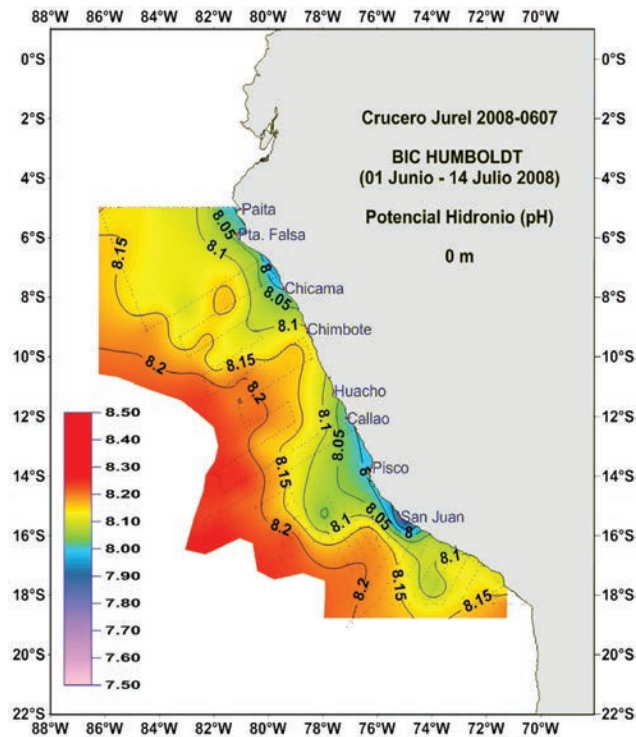


Figura 3.- Distribución Superficial del Potencial Hidrónico (pH). Crucero de Evaluación del Jurel 0806-07. Mayor intensidad de afloramiento costero: Chicama y San Juan, ligeramente cálido al norte de Huacho con Anomalías Térmicas Superficiales del Mar entre +1,0 °C a +2,0°C, reflejándose en las masas de agua frente a Chimbote que registran pH 8,1 a 8,15.

el pH es menor en la zona costera, esta característica se acentuó en la costa de Callao (12°S) y Pisco (14°S) con valores de 7,6 a 7,9, que coincidió con los núcleos de afloramiento y la presencia de aguas costeras frías, mientras que en Paíta (5°S) estos valores fluctúan entre 7,8 a 8,2 dentro de las 50 millas náuticas; en este caso, los mayores valores superficiales de pH estarían asociados a la influencia de la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC), la cual mantiene oxigenada la columna y profundiza la distribución de la zona de mínima de oxígeno (ZMO), que se caracteriza por su alto contenido del total de CO₂ y bajos valores de pH asociados a una remineralización de materia orgánica. Los datos también muestran una fuerte variabilidad interanual, en el 2007 se registró condiciones La Niña y un intenso afloramiento con valores de pH hasta 7,52 para la temporada de otoño, es decir, 0,58 unidades de pH por debajo de la medida global del océano.

CONDICIONES DE EL NIÑO, LA NIÑA Y CAMBIOS EN EL pH

Los valores de pH registrados a lo largo y frente a la costa del Perú durante la primavera 2007, periodo que presentó condiciones La Niña, mostraron una significativa variabilidad temporal y espacial, evidenciándose bajos valores de pH a nivel superficial (hasta 7,52) asociados a eventos de surgencia y altos contenidos de CO₂ total (Fig. 2).

Durante el invierno 2008, las condiciones oceanográficas se tornaron ligeramente cálidas debido a la proyección hacia el sur y el acercamiento de las Aguas Ecuatoriales Superficiales en la zona norte y de las Aguas Subtropicales Superficiales en la zona centro del Perú. Estas masas de agua generaron cambios en el patrón habitual de las características hidroquímicas, al restringirse la influencia del afloramiento costero a zonas por dentro de las 35 mn de la costa y obtenerse un pH máximo de 8,30 a nivel superficial, asociado a una temperatura de 20,1 °C y 5,56 mL/L de oxígeno disuelto (Fig. 3). La TSM varió de 15,9-24,8 °C, influenciada por una onda Kelvin, presentando temperaturas con anomalías positivas y el incremento del pH.

DISTRIBUCIÓN DE MASAS DE AGUA Y pH

En la Fig. 4, se muestra el Diagrama de Masas de Agua Superficiales (ZUTA et al. 1970), temperatura, pH y densidad, en base a la información de los cruces realizados por IMARPE entre el 2007 al 2009, visualizando mayor estabilidad en las ATS y alta variabilidad del pH, en las ACF. Las masas de aguas cálidas se encontraron muy relacionadas con valores altos de pH y salinidad. El pH tuvo mejor correlación con la salinidad pues las masas de agua fría se relacionan con bajos valores de oxígeno y pH debido a los procesos de afloramiento. Los altos valores de pH en superficie (8,50) coincidieron con concentraciones supersaturadas de O₂ (Fig. 5), asociados a la presencia de núcleos elevados de clorofila-a que evidencian la relación de la productividad y el incremento en el pH, con valores extremos durante la ocurrencia de floraciones algales (hasta 9,00).

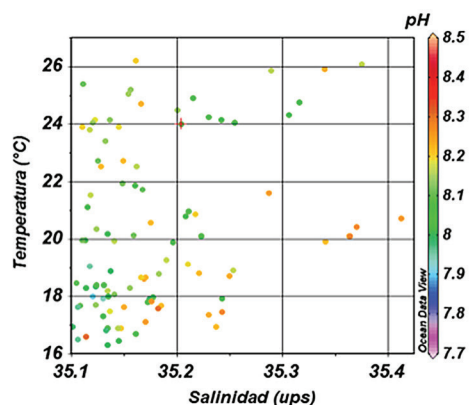
INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD REFLEJADO EN EL pH

Las Figs. 6 y 7, muestran la correlación de las diferentes combinaciones entre el pH y las otras variables en la superficie durante el crucero sobre recursos demersales en el verano 2008. En la zona donde hubo presencia de marea roja ésta estuvo asociada con altos valores de pH y valores por debajo de 380 ppm de CO₂ parcialmente disuelto, observándose también altas concentraciones de clorofila-a y de oxígeno debido al proceso de fotosíntesis relacionadas a la actividad biológica y a la productividad.

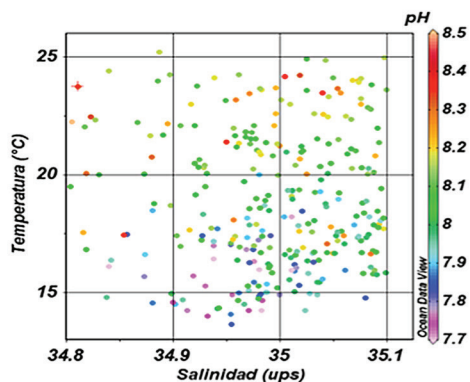
RELACIÓN DEL pH, TEMPERATURA Y SALINIDAD EN LA COLUMNA DE AGUA

En la Fig. 8, se puede analizar el perfil a 50 mn de Callao durante el invierno 2007 y otoño 2008, y se observa la relación entre temperatura, densidad y pH con respecto a la profundidad. En la columna de agua estas tres variables se correlacionan de manera muy similar, el pH se correlaciona de manera directa con la temperatura y la densidad es controlada por la temperatura comportándose con una tendencia opuesta a ella. De esta manera, podemos señalar que el pH es un buen trazador de la Variabilidad Oceanográfica.

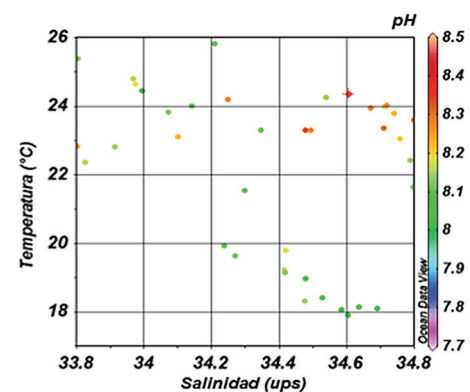
Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m ⁻³)
Rango	16,3 - 26,2	7,91 - 8,30	1022,9 - 1025,8
Promedio	20,3	8,13	1024,7
Clasificación Zuta	a) Aguas Subtropicales Superficiales (>35,1 ups)		



Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m ⁻³)
Rango	13,7 - 25,2	7,56 - 8,98	1023,0 - 1026,2
Promedio	18,8	8,04	1024,9
Clasificación Zuta	b) Aguas Costeras Frías (34,8 - 35,1 ups)		



Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m ⁻³)
Rango	17,9 - 25,8	8,03 - 8,36	1022,2 - 1025,0
Promedio	22,1	8,17	1023,6
Clasificación Zuta	c) Aguas Ecuatoriales Superficiales (33,8 - 34,8 ups)		



Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m ⁻³)
Rango	23,1 - 27,1	8,12 - 8,21	1018,7 - 1022,8
Promedio	25,5	8,17	1021,0
Clasificación Zuta	d) Aguas Tropicales Superficiales (<33,8 ups)		

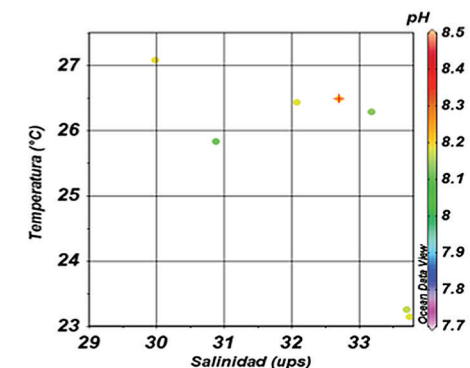


Figura 4.- Diagrama de Masas de Agua Superficiales en base a la clasificación de ZUTA et al. 1970, Temperatura, pH y Densidad. Información de cruceros del IMARPE del 2007 al 2009. a) Aguas Subtropicales Superficiales (ASS); b) Aguas Costeras Frías (ACF); c) Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES); y d) Aguas Tropicales Superficiales (ATS).

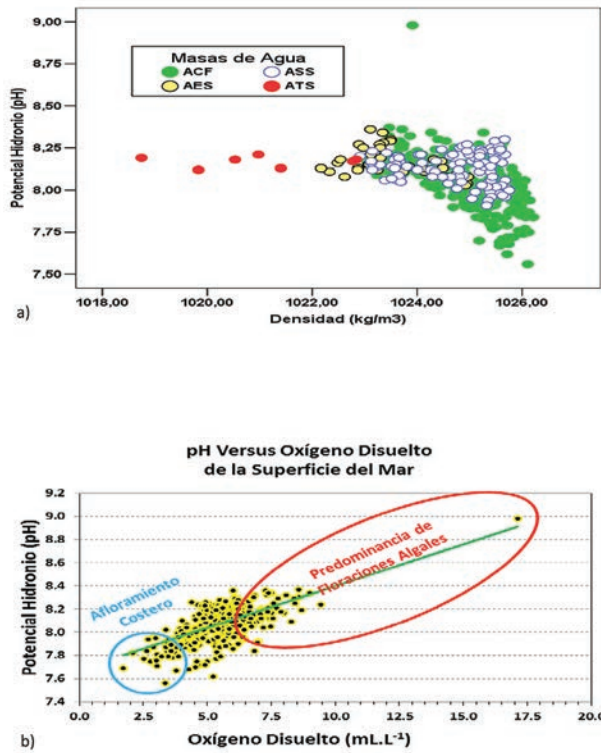


Figura 5.- Distribución superficial del potencial Hidronio (pH) en base a datos obtenidos por IMARPE durante los cruceros del 2007 al 2009: a) visualizando mayor estabilidad en las ATS y alta variabilidad del pH en las ACF; b) los procesos de afloramiento inciden en los bajos valores de oxígeno y pH, situación contraria resulta en la floraciones algales con el incrementos del oxígeno disuelto y el pH.

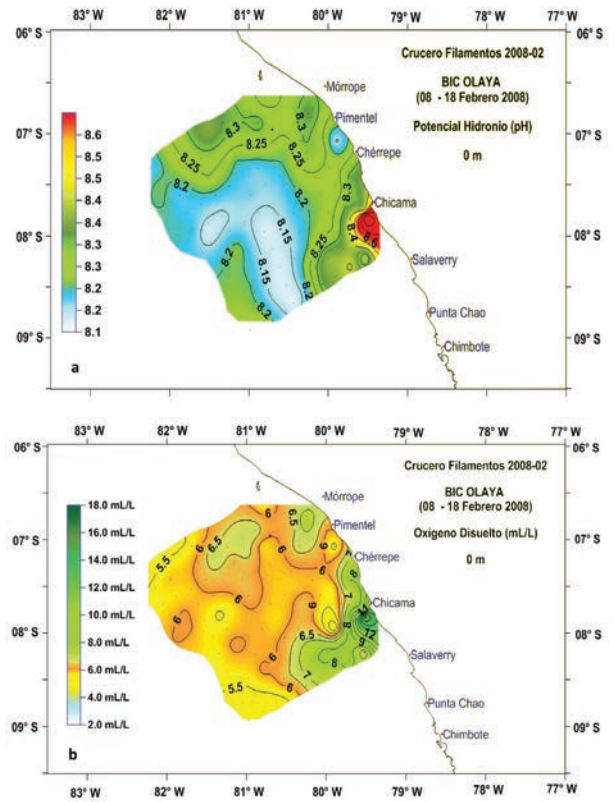


Figura 6.- Distribución superficial durante el Crucero Filamentos 2008: a) Potencial Hidronio (pH), se muestra los efectos de una alta actividad fotosintética, donde el pH se incrementa hasta los límites del sistema de carbonatos de 8,6 a 8,9, valores atípicos que se presentan durante los veranos australes, con mayor frecuencia en la costa central del Perú. b) Oxígeno disuelto (mL/L), muestra niveles de saturación superior al 100% por las floraciones algales, los contenidos de oxígeno mayor a 8,0 mL/L se asocian a pH por arriba de 8,3.

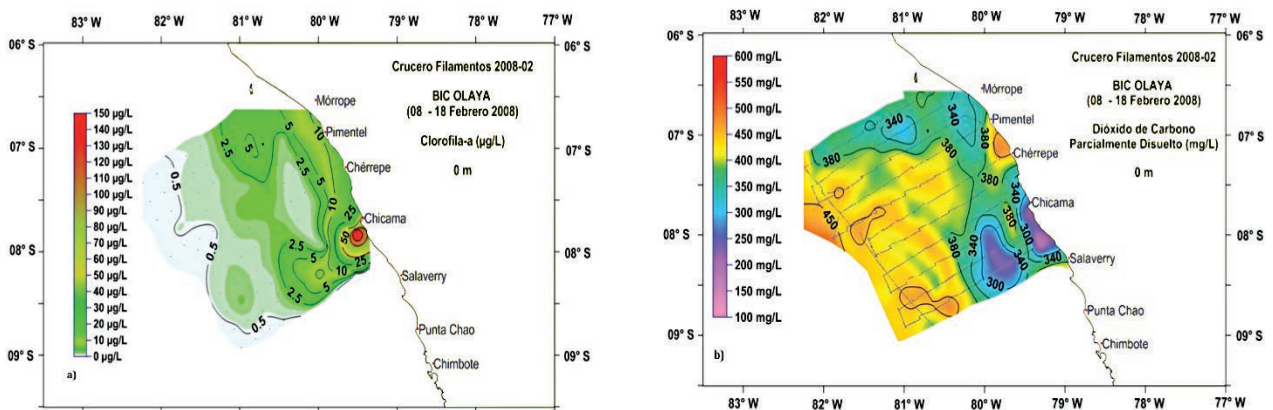


Figura 7.- Distribución superficial durante el Crucero Filamentos 2008: a) Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), la intensa actividad fotosintética de los veranos eleva la clorofila-a en zonas costeras hasta valores de alrededor de 150 $\mu\text{g/L}$, considerándose como áreas productivas a clorofila-a superiores a 5,0 $\mu\text{g/L}$; b) Dióxido de Carbono parcialmente disuelto (mg/L), forma del CO_2 que se involucra en el proceso de fotosíntesis, ante tasas elevadas disminuye por debajo de valores atmosféricos (380 mg/L), como resultado de zonas de sumideros de CO_2 .

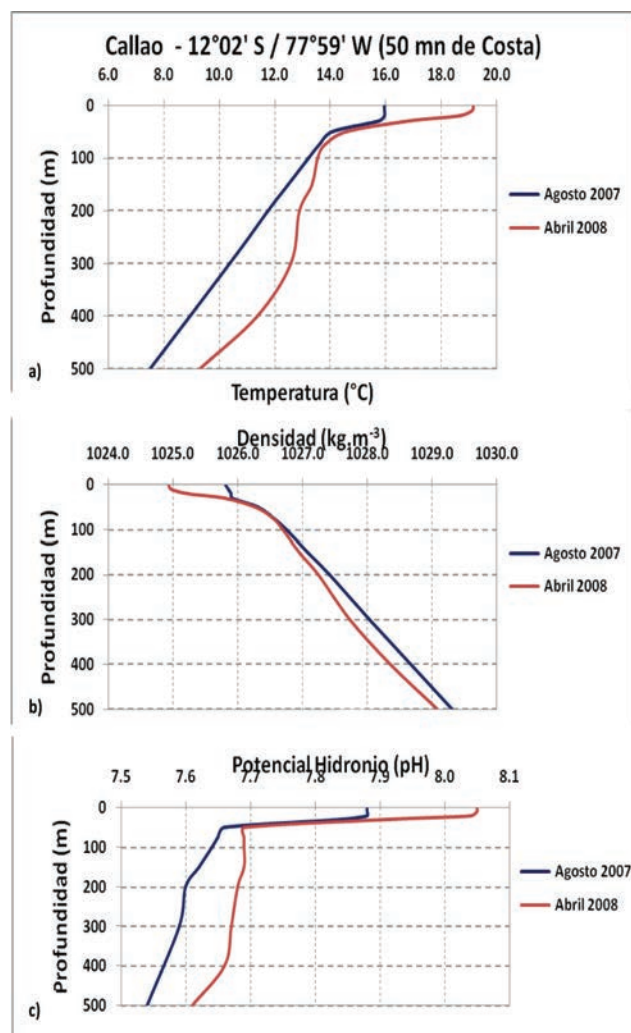


Figura 8.- Perfil a 50 mn de Callao durante el invierno 2007 y otoño 2008: a) La temperatura (°C) disminuye en relación a la profundidad (m), a la estación de invierno y durante el periodo La Niña 2007, en este período la temperatura superficial del mar presentó anomalías entre -0,5 a -2,0 °C, según el Índice Niño Oceánico (ONI 1.2) de la NOAA. b) La densidad sigue una tendencia opuesta a la temperatura, por consiguiente durante La Niña se incrementa, mostrando valores más densos en la columna de agua en año 2007. c) El potencial Hidronio se refleja como un trazador de la variabilidad oceanográfica, manteniendo un promedio 0,1 de diferencia entre el pH de invierno 2007 y otoño 2008 para la columna de agua.

Referencias

- CALDEIRA K, WICKETT M. 2003. Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH, *Nature*, vol. 425, September 25, p 365.
- CAÑÓN J, MORALES E. 1985. Geografía de Chile. Tomo IX, Geografía del mar de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 244 pp.
- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modification of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water. *J. Mar. Res.* 24: 286-318.
- DICKSON A. 1993. pH buffers for sea water media base on total hydrogen ion concentration scale. *Deep Sea Research*, 40, pp 107-118.
- GONZÁLEZ H E, DANERI G, FIGUEROA D, IRIARTE J L, LEFEVRE N, PIZARRO G, QUIÑONES R, SOBARZO M, TRONCOSO A. 1998. Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmósfera de CO₂ en la zona norte de la corriente de Humboldt (23°S): posibles efectos del evento El Niño, 1997-98 en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 429-458.
- HOLM-HANSEN A, LORENZEN C, HOLMES R, STRICKLAND J. 1965. Fluorometric determination of Chlorophyll. *J. Cons. Perm. Explor.* 30: 3-15.
- IRIARTE J, PIZARRO G, TRONCOSO V, SOBARZO M. 2000. Primary production and biomass of size fractionated phytoplankton of Antofagasta, Chile (23-24°S) during pre-El Niño and El Niño 1997. *Journal of Marine Systems* 26: 37-51.
- ORR J. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms, *Nature*, vol. 437, September 25, pp 681-686.
- PAULMIER A, RUIZ-PINO D, GARCON V. 2011. CO₂ maximum in the oxygen minimum zone (OMZ). *Biogeosciences*, 8, 239-252.
- SHAFFER G, PIZARRO O, DJURFELD L, SALINAS S, RUTLLANT J. 1997. Circulation and low frequency variability near the Chilean coast: remotely forced fluctuations during the 1991-1992 El Niño. *Journal of Physical Oceanography* 27: 217-235.
- SHERMAN K. 1994. Sustainability, biomass yields, and health of coastal ecosystem: an ecological perspective. *Marine Ecology Progress Series* 112: 277-301.
- SUMMERHAYES C, EMEIS K, ANGEL M, SMITH R, ZEITZSCHEL B. 1995. Upwelling in the ocean: modern processes and ancient records. *Environmental Sciences Research Report* 18: 1-37.
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú*. Vol. 2, N° 5: 157-324.



BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458 - 7766

Volumen 26, Números 1 y 2

CONCIMAR Perú



II Congreso de Ciencias del Mar del Perú
Piura, Perú. Del 24 al 28 de mayo 2010



Enero - Diciembre 2011

Callao, Perú