

Comportamiento espacial de variables químicas en la Cuenca Pacífica Colombiana CPC LI

Spatial behavior of chemical variables in the Pacific Colombian Basin CPC LI

Fecha de recepción: 2013-08-15 / Fecha de aceptación: 2013-10-01

Estefanía Isaza Toro

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas Pacífico (CCCP). Área de Oceanografía. Capitanía de Puerto de Tumaco, Vía El Morro, Tumaco, Colombia. Tel: +57 (2) 727 26 37. Correo electrónico: eisaza@dimar.mil.co.

Isaza Toro, E. 2013. Comportamiento espacial de variables químicas en la Cuenca Pacífica Colombiana durante el Crucero Oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana-CPC LI. Bol. Cient. CIOH (31): 95-108

RESUMEN

Con el fin de conocer el comportamiento de las variables químicas en la Cuenca Pacífica Colombiana se analizaron los resultados concernientes a las muestras de agua tomadas durante el crucero oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana LI, realizado entre el 5 y 20 de septiembre de 2012, a bordo del buque oceanográfico ARC "Providencia". Las mediciones in situ se tomaron en 24 estaciones, distribuidas entre los meridianos 77°45'W a 84°00'W y entre las latitudes 1°30'N a 6°30'N. Entre los resultados más relevantes se encontró que el oxígeno disuelto a nivel superficial varió entre 6,53 y 6,97 mg/L, ubicándose las zonas de mayor concentración en cercanía de la costa y en la parte oceánica sobre los 2°00'N; el nitrógeno inorgánico total (NIT) estuvo comprendido entre 0,22 y 2,55 μM , registrándose mayor presencia en la región costera. Respecto de los pigmentos fotosintéticos, representados por la clorofila a, las mayores concentraciones se registraron en cercanía a la costa. Los valores más altos en superficie, del orden de 0,42 mg/m³, se ubicaron hacia la parte central-sur de la cuenca, a la altura de los 4°N, indicando adicionalmente un posible desarrollo de afloramiento en la región comprendida entre los 2° y 4°N, y 80° y 82°W. También es importante mencionar que el pH varió entre 8,15 y 8,25, mientras los fosfatos estuvieron comprendidos entre 0,01 y 2,09 μM , presentando las mayores concentraciones en cercanía a la costa entre los 3° y 4° grados norte. Los silicatos por el contrario presentaron mayores concentraciones en la región oceánica, puntualmente entre 4°N y 82°W, con valores comprendidos entre 0,43 y 6,16 μM . La temperatura superficial presentó un promedio de 26,45°C, mientras la salinidad superficial registró un valor promedio de 31,43. La termoclina y haloclina se ubicaron alrededor de los 30 m de profundidad. Las condiciones observadas podrían estar relacionadas con un posible estado de neutralidad con respecto al desarrollo de un evento El Niño. Finalmente, el presente trabajo buscó contribuir a la caracterización química de la Cuenca Pacífica Colombiana y por ende como un aporte importante a futuros estudios de caracterización de zonas de surgencias y productividad en el Pacífico colombiano.

PALABRAS CLAVE: Oceanografía, Cuenca Pacífica Colombiana, afloramiento, nutrientes.

ABSTRACT

In order to know the chemical behavior of the Pacific Colombian Basin, there were analyzed in situ water samples results taken in the frame of the oceanographic cruise Pacific Colombian Basin version LI, realized between September the 5th and 20th of 2012, on board of the oceanographic vessel ARC Providencia. The measurements in situ were taken in 24 stations located between the coordinates 77°45'W to 84°00' W and 1°30'N to 6°30'N. The concentration of dissolved oxygen ranged between 6.53 and 6.97 mg/L, with zones of major concentration in coastal areas and in the oceanic part around 2°N. The presence of the nitrogen as nitrates had values between 0,06 and 32,22 μM all over the basin surface, meanwhile the values registered for the nitrites were 0.04 μM approximately, principally between 4 and 5 °N. Relating to the photosynthetic pigments represented by the chlorophyll a, the highest concentrations registered in nearness to the coast and in the northern part of the basin. The highest values, of the order of 0.42 mg/m³, were located towards the central part to the south of the basin, at 4°N, indicating a possible development of upwelled waters in the region located between the 3° and 4°N and 80° and 82°W. Also it is important to mention that the pH changed between 8.15 and 8.25, while the phosphates were understood between 0.01 and 2.09 μM , presenting the major concentrations in nearness to the coast between the 3° and 4° degrees north. The silicates on the contrary presented major concentrations in the oceanic region, punctually between 4°N and 82°W, with values understood between 0.43 and 6.16 μM . The averages of sea surface temperature and salinity were 26.45°C and 31.43 respectively. Both halocline and thermocline were situated close the 30 meters depth 31.43 UPS. Both halocline and thermocline were situated close the 30 meters depth. The chemical behavior might be related to a possible condition of neutrality with related to the development of an El Niño event. This study could be considered the first research that characterizes chemically the basin, based on in situ data, then it is supposed as an important contribution to future studies of characterization upwelling and productivity areas in the Colombian Pacific Basin.

KEY WORDS: Oceanography, Colombian Pacific Basin, upwelling system, nutrients.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Pacífica Colombiana (CPC), debido a su ubicación en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), presenta como característica especial la modulación del campo de corrientes superficiales y subsuperficiales debido a su desplazamiento estacional, afectándose así las condiciones hidroclimáticas de la región [1]. La afectación se relaciona principalmente con la influencia de los Alisios del Norte en dos épocas del año, a inicio y finales, así como el efecto de los Alisios del Sudeste, los cuales en conjunto ocasionan que la ZCIT se desplace hacia el sur en el primer trimestre y hacia el norte en el segundo semestre del año. Este comportamiento se encuentra también influenciado por otros eventos de mayor escala, tanto espacial como temporal, como es el caso de El Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Este fenómeno y sus componentes cálido y frío, perturban el flujo regular de los Alisios, modificando de esta manera las condiciones tanto oceánicas como atmosféricas de la región.

Además del efecto que tiene el mencionado fenómeno sobre la CPC, la presencia de la depresión tropical en la Bahía de Panamá y la incursión de un frente frío sobre el Caribe colombiano hacen que la dirección y velocidad de los vientos en el extremo norte del Pacífico se vean afectados aunque sea por poco tiempo. Todo lo mencionado hace que sobre la región costera del Pacífico colombiano no se diferencien claramente las épocas secas y húmedas [2]. Además de lo anteriormente mencionado, los núcleos nubosos que inciden sobre el área hacen que el clima se caracterice como tropical lluvioso de selva (clasificación Afi), con temperaturas medias anuales generalmente superiores a 27°C [3].

La CPC, a pesar de ser una región extensa y de tener registros de cruceros e investigaciones oceanográficas que se realizan desde hace varias décadas [4, 5, 6, 7, 8], ha sido objeto de investigaciones que se han centrado principalmente en análisis de parámetros oceanográficos físicos y su relación con diferentes fenómenos atmosféricos como El Niño. Existen trabajos puntuales como el de [9] en el cual se menciona el comportamiento de nutrientes como amonio, nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos y su relación con abundancia fitoplanctónica y las fases cálida y fría del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

Estos autores sugieren que algunas especies de diatomeas y dinoflagelados podrían estar cumpliendo funciones de indicadores biológicos, comportamiento que varía dependiendo de la fase del ENOS que se esté desarrollando.

Si bien el Pacífico colombiano ha sido estudiado desde hace algunas décadas, a nivel oceanográfico se han trabajado principalmente aspectos físicos como el comportamiento del viento, el desarrollo mareal y las corrientes que gobiernan la dinámica de la cuenca. Teniendo en cuenta la alta productividad que se desarrolla a partir de diferentes procesos biológicos, químicos y físicos, hacer un análisis de las condiciones químicas y nutricionales, y empezar a caracterizar el comportamiento oceanográfico químico de la CPC es necesario.

En ese orden de ideas, este trabajo se considera como un aporte inicial al propósito de conocer la dinámica que gobierna las variables químicas y los procesos nutricionales de la CPC. La caracterización química de la CPC en el marco del proyecto Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN), busca relacionar los procesos de productividad y nutricionales asociados a posibles fenómenos de afloramientos mencionados por los autores como [10, 11, 12, 7], entre otros. Además, se considera el punto de partida del procesamiento y análisis de información que conlleven al establecimiento de la climatología de cada una de las variables nutricionales muestreadas.

ÁREA DE ESTUDIO

La CPC está comprendida entre los meridianos 77°45'W y 84°00'W y las latitudes 1°30'N a 6°30'N (figura 1).

METODOLOGÍA

Entre el 5 y 20 de septiembre de 2012, a bordo del buque oceanográfico ARC "Providencia", se desarrolló el crucero oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana (CPC) LI con el fin de monitorear y evaluar las condiciones físicas, químicas y biológicas de la CPC. El muestreo se realizó en 24 estaciones situadas entre los meridianos 77°45'W a 84°00'W y entre las latitudes 1°30'N a 6°30'N. Las muestras de agua se colectaron, utilizando una roseta Sea-Bird de doce botellas tipo Niskin, a profundidades estándar de 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 y 500 m [13].

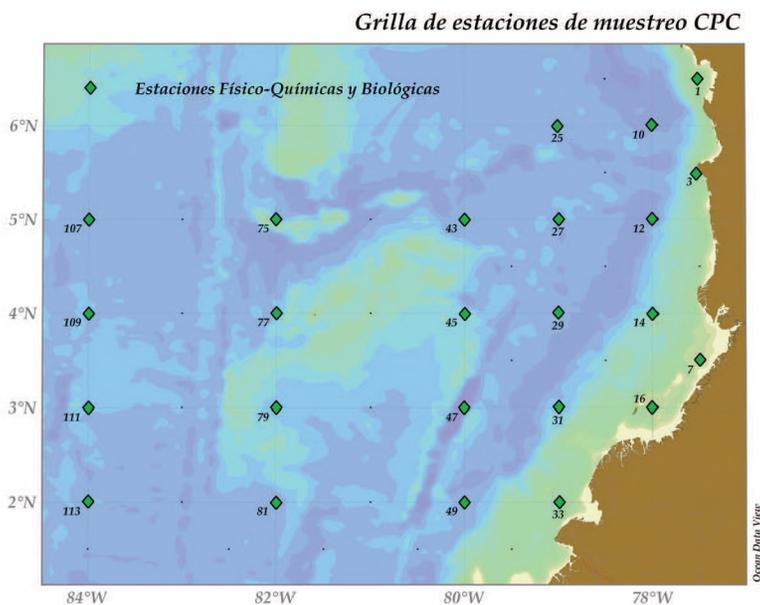


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de parámetros fisicoquímicos y biológicos en la CPC.

Una vez las muestras fueron colectadas, se trasvasaron a recipientes de 4 l, se congelaron y transportaron al Laboratorio de Química del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP) para los respectivos ensayos. Las muestras para la determinación de clorofila *a*, fueron filtradas *in situ* y los extractos se protegieron con papel aluminio para posteriormente congelarlos a -20°C hasta la llegada al laboratorio. Los ensayos encaminados a determinar los niveles de oxígeno disuelto, nutrientes y clorofila *a*, se realizaron según los métodos validados por el Laboratorio de Química del CCCP. Es importante mencionar que dichos métodos hacen parte del alcance de la acreditación (bajo resolución 6561 del 5 de febrero de 2010) ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y actualmente bajo vigilancia por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).

La determinación de clorofila *a* y oxígeno disuelto se efectuó aplicando el método tricromático 10200 H y el método yodométrico 4500-O B, respectivamente, ambos métodos descritos en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [14]. Para la determinación de silicatos se siguió el método del metol-sulfito, para los nitratos se aplicó el método colorimétrico de reducción

con cadmio-cobre, la determinación analítica de amonio se hizo según el método colorimétrico del azul de endofenol. Los tres métodos mencionados anteriormente son descritos por [15]. Para el caso de los fosfatos y su determinación se siguió el método del ácido ascórbico de Murphy y Riley [16].

Una vez obtenidos los resultados finales, se procedió a realizar el análisis estadístico y control de calidad de los datos con el software STATISTICA 7. Se identificaron valores extremos y atípicos, considerando promedios y tres desviaciones estándar con el fin de tener una seguridad de que el 99 % de los datos fueran analizados. Posteriormente se promediaron los valores de cada variable según las profundidades estándar y específicamente hablando del nitrógeno en la zona de estudio, después de procesar la serie de datos del amonio, nitrito y nitrato, se sumaron dichos promedios para obtener el valor correspondiente a Nitrógeno Inorgánico Total (NIT) en la CPC. Será este parámetro derivado el que se analizará en este documento.

Una vez filtrados estos valores extremos y atípicos, y asignadas banderas de calidad, la matriz final se graficó con el software Ocean Data View para analizar el comportamiento de los nutrientes y pigmentos fotosin-

téticos en la superficie de la CPC. También se analizó el comportamiento de los parámetros químicos a profundidad a lo largo de los 2°N. Se escogió este transepto debido a la influencia de aguas oceánicas en la región occidental y fría proveniente del sur, además del efecto que tiene la presencia de aguas continentales como las proporcionadas por el puerto de Tumaco y los ríos de la zona [2].

Adicionalmente, autores como [12, 17, 18, 19], entre otros, han mencionado el desarrollo de procesos de afloramientos a lo largo de este transepto, representados por cambios principalmente físicos en la columna de agua.

Por último, pero no menos importante, este transepto corresponde con el límite inferior de la Zona Económica Exclusiva de Colombia sobre el océano Pacífico, según la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar de 1982.

RESULTADOS

Después de procesar los datos y analizando el comportamiento de cada variable en la columna de agua a profundidades estándar, se observó que el pH presentó un comportamiento poco variable en los primeros 30 m de la columna de agua, con valores cercanos a 8,2. Posterior a esta profundidad, hubo un descenso en los valores del pH indicando así la presencia de masas de agua más ácidas, comportamiento que se mantuvo progresivamente hasta alcanzar la máxima profundidad y el valor más ácido cercano a 7,6.

Respecto de la presencia de nitrógeno en la columna de agua, cabe resaltar que las concentraciones de amonio y nitrito se mantuvieron bajas pero constantes a profundidad, con valores comprendidos entre 0,1 y 0,5 μM , respectivamente. Lo anterior contrasta con el comportamiento para el nitrato, el cual presentó valores no sólo más altos, sino que se mostró como el nutriente más significativo y determinante para entender el comportamiento del nitrógeno en la zona de estudio. Los valores más altos estuvieron comprendidos entre 24 y 35 μM . La concentración de NIT a profundidad presentó un incremento leve pero continuo en los primeros 30 m, con valores entre 1,3 y 3,9 μM . Posteriormente, los valores pasaron de 3,9 a casi 17 μM entre los 30 y 50 m y finalmente alcan-

zaron el máximo de concentración de nitrógeno a máxima profundidad (33,2 μM).

El comportamiento descrito para el NIT es similar al presentado por el fósforo y el silicato en la columna de agua. En ambos casos se presentó un comportamiento poco variable en los primeros 30 m, con valores cercanos a 0,2 y 2 μM , respectivamente. Luego se observó un incremento en las concentraciones de ambos parámetros entre los 30 y 50 m. En el caso del fósforo, la concentración pasó de 0,3 a 1,2 μM , aproximadamente; mientras que para el silicato los valores aumentaron de 2,05 a casi 9 μM . Por último se alcanzan los máximos valores a profundidad máxima 500 m, siendo estos del orden de casi 40,6 μM para el silicato y 2,7 μM para el fósforo.

El oxígeno disuelto, por el contrario, presentó los valores más altos en los primeros 30 m, con concentraciones aproximadas de 6 mg/l. Se presentó un descenso significativo en la concentración de este parámetro entre los 30 y 50 m de profundidad, pasando de 6,14 a 3,82 mg/l. Finalmente, la concentración de esta variable alcanzó un valor mínimo de 0,46 mg/l a máxima profundidad.

Los pigmentos fotosintéticos, presentados por la clorofila *a* presentaron un comportamiento diferente a los descritos para las demás variables. Si bien se registró un incremento progresivo en la concentración de los pigmentos, éste se dio entre los 0 y 50 m de la columna de agua, con valores entre los 0,26 y 0,56 mg/m³. Después de los 50 m la concentración empezó a disminuir hasta alcanzar valores mínimos cercanos a 0,08 mg/m³ a máxima profundidad (figura 2).

En la Tabla I se presentan además los promedios de las variables químicas y nutricionales según la profundidad, para mayor ilustración.

Para analizar el comportamiento en superficie de las variables químicas se presentan los valores promedio acompañados de su respectiva desviación estándar. La concentración superficial de oxígeno disuelto osciló entre 6,53 y 6,97 mg O₂/L, ubicándose las zonas de mayor concentración en cercanía de la costa y en la parte oceánica sobre los 2°N.

La presencia de (NIT) en superficie estuvo comprendida en un intervalo de 0,22 μM

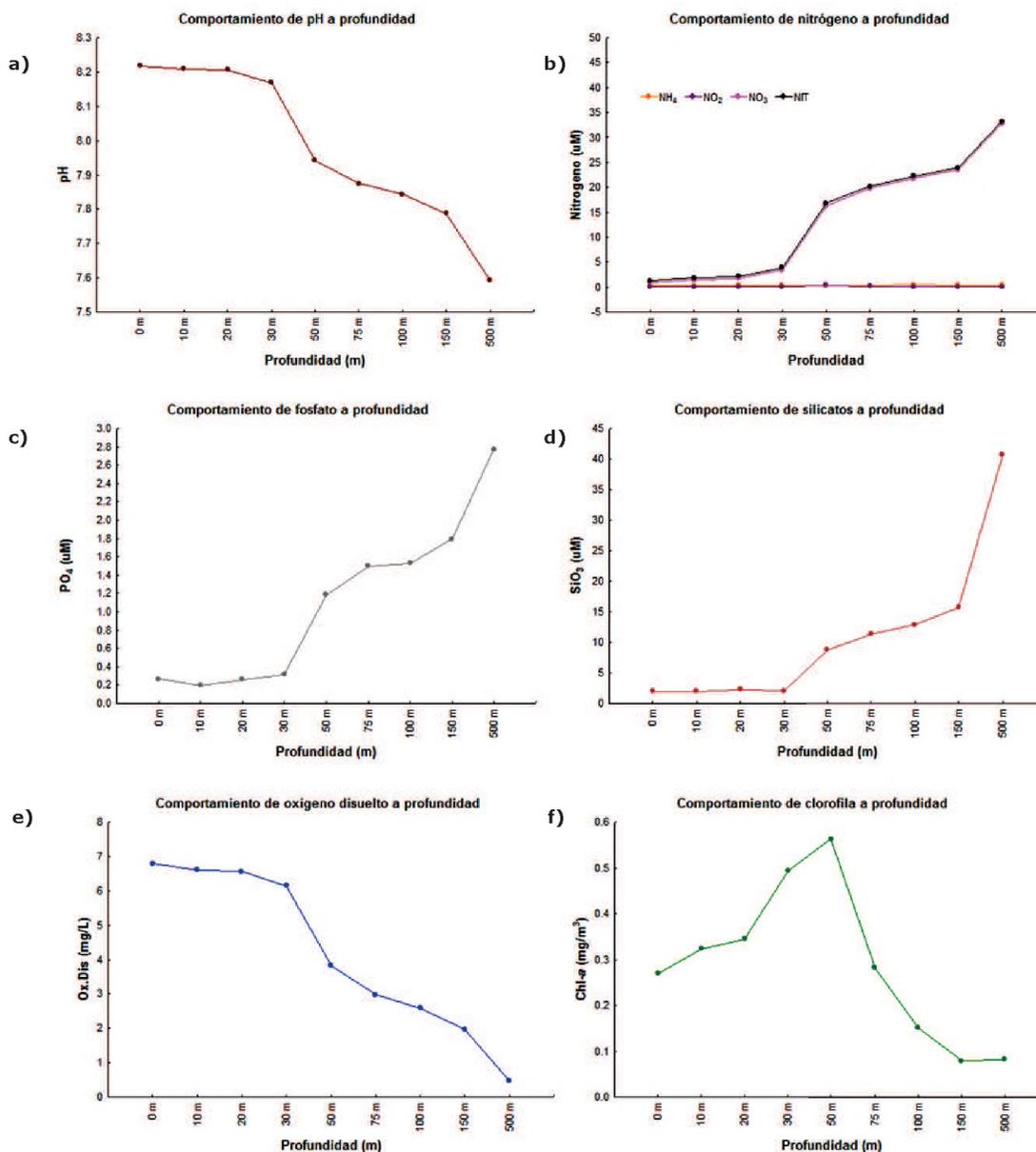


Figura 2. Comportamiento a profundidades estándar de parámetros químicos y nutrientes en la CPC para septiembre de 2012. **a)** pH, **b)** NIT, **c)** fósforo, **d)** silicato **e)** oxígeno disuelto y **f)** clorofila *a*.

Tabla I. Tabla de valores promedio de variables químicas y nutricionales a profundidad en toda la CPC.

Variable	0 m	10 m	20 m	30 m	50 m	75 m	100 m	150 m	500 m
pH	8,217	8,208	8,206	8,169	7,941	7,874	7,843	7,788	7,593
NH ₄	0,336	0,301	0,354	0,327	0,291	0,275	0,448	0,384	0,34
zNO ₂	0,035	0,045	0,042	0,127	0,321	0,140	0,048	0,038	0,034
NO ₃	0,933	1,484	1,738	3,476	16,233	19,812	21,786	23,546	32,815
NIT	1,305	1,831	2,135	3,930	16,846	20,229	22,283	23,969	33,189
PO ₄	0,264	0,197	0,258	0,315	1,185	1,496	1,528	1,790	2,773
SiO ₃	1,998	1,994	2,276	2,052	8,738	11,311	12,823	15,658	40,649
Ox. Dis	6,790	6,597	6,560	6,145	3,821	2,978	2,59	1,972	0,461
Chl-a	0,269	0,323	0,344	0,492	0,562	0,281	0,150	0,079	0,081

a 2,55 μM , con un promedio de 1,152 $\mu\text{M} \pm 0,576$, registrándose los valores más altos en la región oceánica sobre los 80°W, entre 2 y 3°N. El pH tuvo un comportamiento más homogéneo que los parámetros mencionados anteriormente, con diferencias de menos de dos niveles de magnitud y un promedio de 8,21 $\pm 0,03$. Hacia el extremo norte de la cuenca se registraron los valores más básicos y para el extremo sur de la cuenca se obtuvieron los valores más ácidos para este parámetro, especialmente entre los 2 y 3°N, sobre los 80°W.

En este mismo punto se observó una zona de alta concentración de fosfatos con valores máximos de 2,09 y un promedio de 0,26 $\pm 0,421$. Esta situación es inversa a lo registrado para el oxígeno disuelto, variable que presentó un promedio de 6,791 $\pm 0,143$

y altas concentraciones a lo largo de la costa pacífica colombiana.

Respecto de los pigmentos fotosintéticos representados por la clorofila *a*, las mayores concentraciones del orden de 0,42 mg/m^3 se registraron en cercanía a la costa sobre los 4°N y en el extremo sur de la CPC, mientras los más bajos se ubicaron hacia la parte central al sur de la cuenca, sobre los 3°N, con valores aproximados de 0,2 mg/m^3 .

Los registros de silicato en la CPC presentaron sus valores más altos en el centro de la misma, sobre los 4°N y 82°W, además de un pequeño núcleo de altas concentraciones cerca de 2°N y 79°W. En general, el promedio de silicatos en la CPC fue de 1,99 $\mu\text{M} \pm 1,54$. (figura 3).

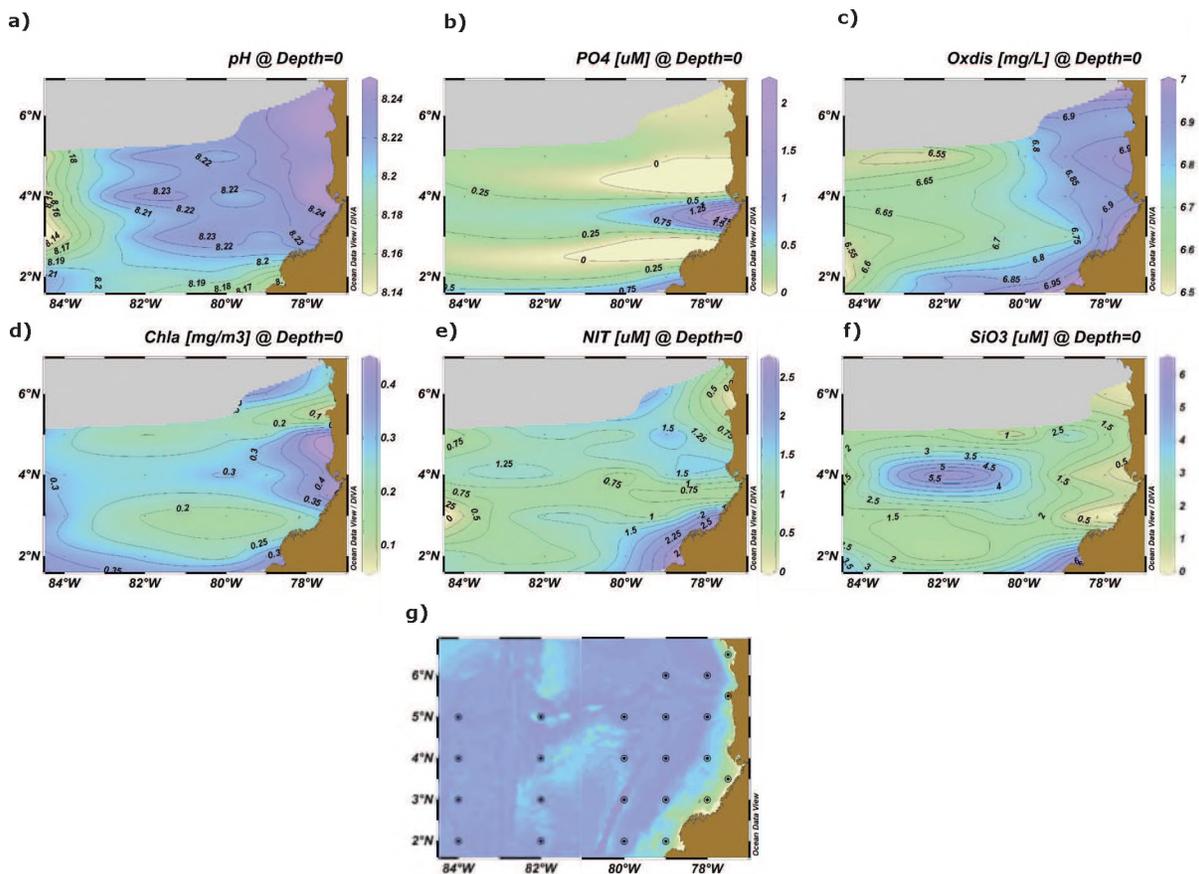


Figura 3. Comportamiento superficial de parámetros químicos y nutrientes en la CPC para septiembre de 2012. **a)** pH, **b)** Fosfatos, **c)** Oxígeno disuelto, **d)** Clorofila *a*, **e)** Nitrógeno inorgánico total **f)** Silicato. Estaciones en **g)**.

Al observar el comportamiento de los nutrientes en la columna de agua en el transecto 2°N, se aprecia claramente que la nutriclina alcanza profundidades cercanas a los 50 m, situación similar para todos los parámetros. Para el comportamiento del oxígeno disuelto en la columna de agua se registró una elevación de la oxiclina, desde los 40 m hasta casi la superficie, puntualmente sobre los 80°W.

El NIT fue el parámetro con mayor variación estándar y al igual que con el oxígeno disuelto, se ubicaron altos valores de nitrógeno cerca de la superficie entre 79 y 80°W. La situación descrita anteriormente también se registró para el pH, pues se presentó mayor basicidad en la superficie de la columna de agua hasta los 50 m de profundidad y a partir de esta profundidad, los valores indicaron una tendencia neutral de la masa de agua. Sobre los 80°W en cercanía de la superficie se ob-

servó el ascenso de agua más ácida.

El fosfato fue otro parámetro que presentó valores marcadamente distintos entre superficie y profundidad, pues de forma general presentó bajas concentraciones de fosfato desde la superficie y hasta los 50 m, aproximadamente. A partir de esta profundidad se incrementó la concentración hasta alcanzar valores de casi 3 µM. También se observó una mayor concentración de fosfato en cercanía a la superficie sobre entre 79 y 80°W.

Respecto de la concentración de pigmentos fotosintéticos la mayor concentración se localizó entre los 40 y 60 m de profundidad. El silicato a profundidad tuvo un comportamiento similar al de NIT, con bajas concentraciones en superficie y más altas a profundidad. En el caso de estos últimos dos parámetros, se aprecia el mismo comportamiento sobre los 80°W (figura 4).

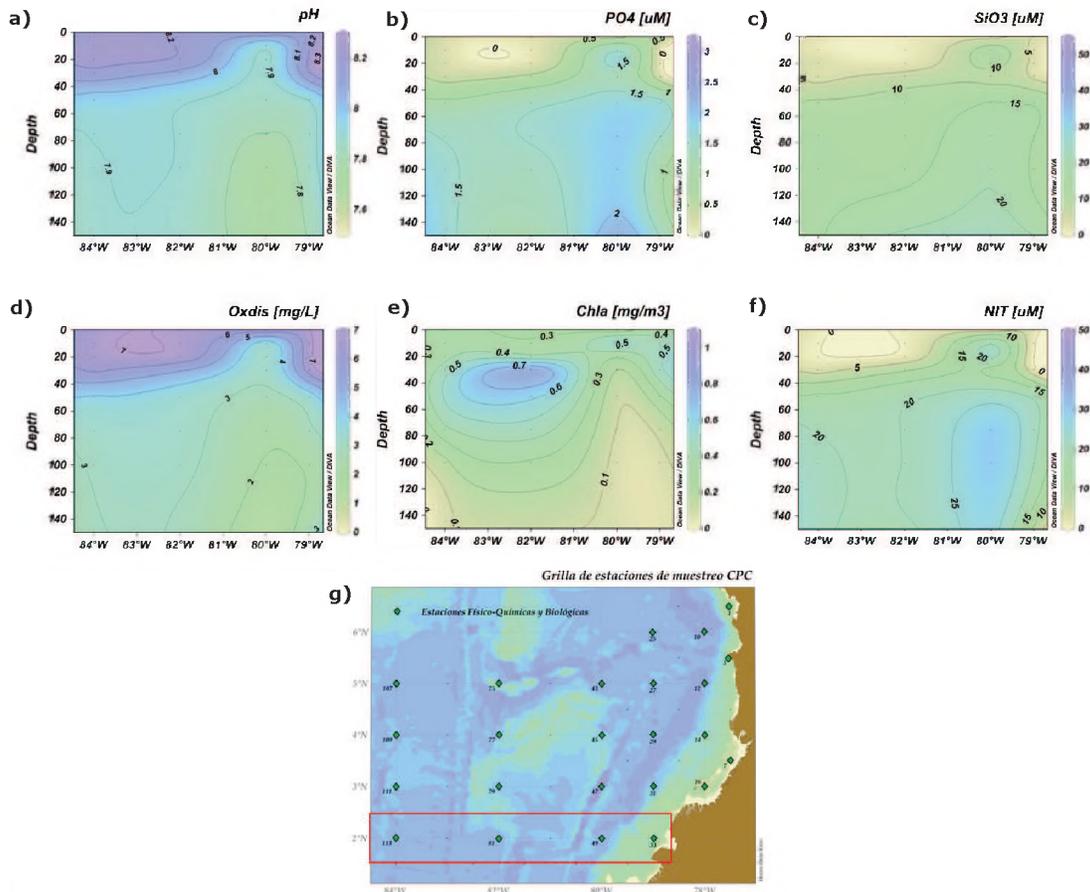


Figura 4. Comportamiento a profundidad sobre el transecto 2°N de parámetros químicos y nutrientes en la CPC para septiembre de 2012. **a)** pH, **b)** Fosfato, **c)** Silicato, **d)** Oxígeno disuelto, **e)** Clorofila y **f)** NIT. Estaciones en **g)**.

Los valores promedios y los intervalos de concentración de los parámetros anteriormente mencionados se ubican en la Tabla II:

Tabla II. Valores promedio e intervalos de concentración de parámetros nutricionales sobre el transecto 2°N.

Parámetro	Promedio y Desviación Estándar	Intervalo
Oxígeno Disuelto	4,384 mg/L \pm 1,921	[0,36; 6,96]
NIT	12,951 μ M \pm 10,373	[0,32; 39,49]
pH	7,997 μ M \pm 0,172	[7,6; 8,22]
PO ₄	1,024 μ M \pm 0,699	[0,08; 3,04]
Chl-a	0,33 mg/m ³ \pm 0,24	[0,05; 1,14]
SO ₃	10,196 μ M \pm 6,832	[0,77; 45,47]

A modo de apoyo en el análisis se incluye la información correspondiente a temperatura tanto en superficie como en la columna de agua sobre el transecto 2°N, al igual que de salinidad. Inicialmente se aprecia en los primeros 15 m de profundidad, una capa constante para la temperatura, con valores cercanos a 26°C.

Para el caso de la salinidad esto fue diferente pues se observó un incremento en los valores de dicho parámetro desde la región costera hacia aguas oceánicas, con valores comprendidos entre 32 y 33. Adicionalmente, se observó una elevación de la termoclina desde los 60 m hasta aproximadamente los 30 m de profundidad, específicamente sobre los 82°W, situación que fue similar para la salinidad. Después de la termoclina, los valores tanto de temperatura como salinidad se mantuvieron prácticamente constantes.

El comportamiento superficial de la temperatura a nivel general no fue homogéneo en la CPC, pues se registraron mayores valores en cercanía a la costa mientras en la región oceánica se observaron aguas más

frías. La salinidad a nivel superficial, por otro lado, mostró una marcada diferencia entre valores costeros y oceánicos, siendo estos últimos más elevados que los primeros. Debido a la elevación de la termoclina y haloclina desde los 60 m hasta los 30 m aproximadamente, se graficó la información de ambos parámetros a nivel espacial a una profundidad de 30 m.

Para el caso de la temperatura el promedio fue de 26,696 \pm 1,265, aunque también se observó una masa de agua considerablemente más fría entre 1,5 y 2°N, y 82 y 84°W, alcanzando valores cercanos a 23°C. Con respecto a la salinidad a 30 m de profundidad, el patrón registrado anteriormente se mantiene apreciándose, igual de clara, la presencia de menor salinidad en cercanía a las costas. A la altura de 3,5°N sobre la costa del puerto de Buenaventura se registraron los menores valores de salinidad, mientras sobre los 2°N y 82°W se ubicó un núcleo de mayor salinidad, al igual que a lo largo de casi todo el transecto 5°N (figuras 5A y 5B).

Los valores promedio e intervalos para temperatura y salinidad se presentan en la siguiente tabla (Tabla III).

Tabla III. Valores promedio e intervalos para temperatura y salinidad.

Parámetro	Promedio y Desviación Estándar	Intervalo
Temperatura sobre 2°N	18,511°C \pm 4,674	[14,06; 27,22] °C
Salinidad sobre 2°N	34,426 UPS \pm 0,9601	[32,01; 35,14]
TSM	26,45 °C \pm 0,862	[24,31; 28,6] °C
SSM	31,431UPS \pm 2,040	[26,35; 33,98]
Temperatura a 30 m	26,696 °C \pm 1,265	[19,93; 27,92] °C
Salinidad a 30 m	32,401 UPS \pm 0,917	[29,88; 34,52]

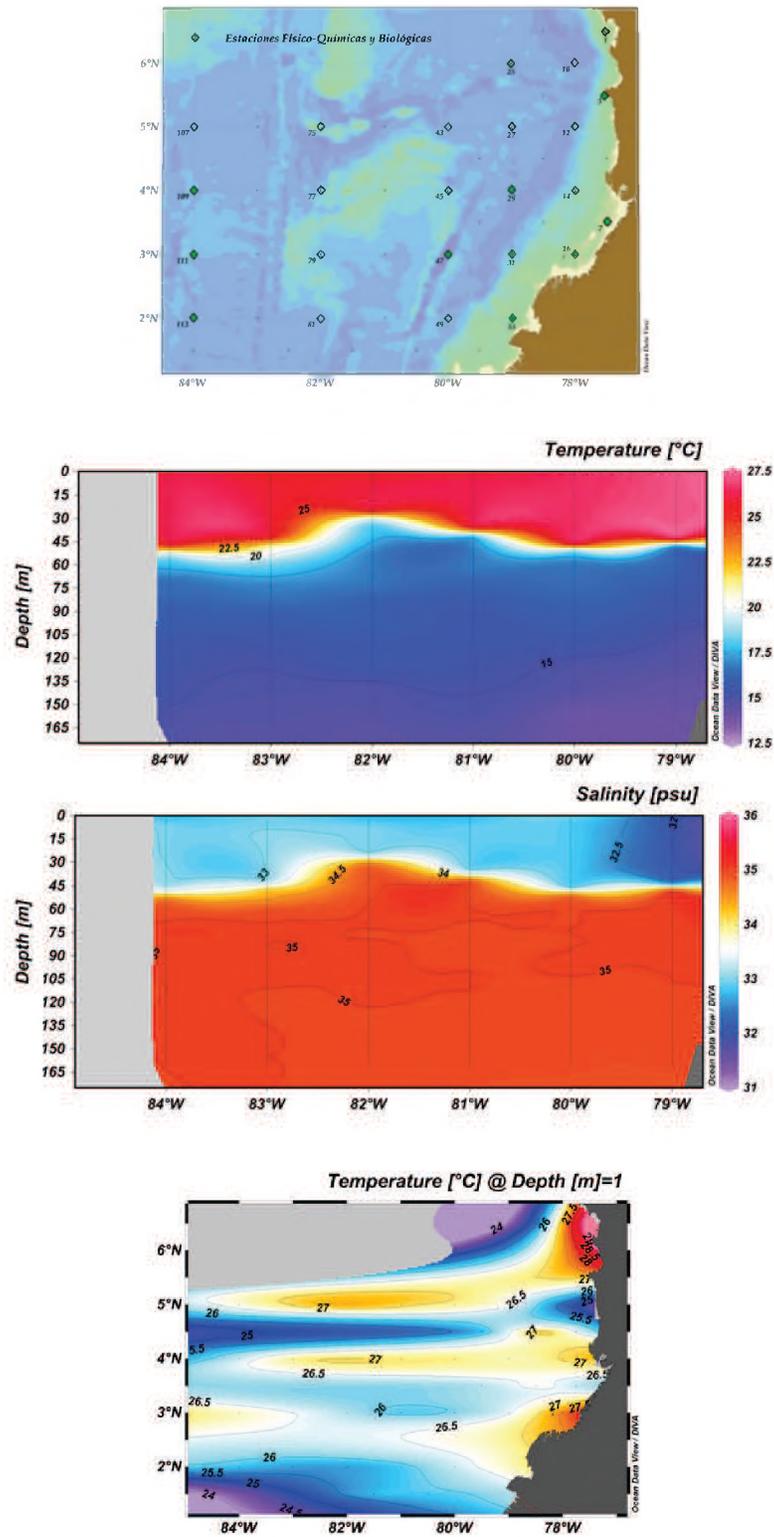


Figura 5 A. Comportamiento a profundidad de la temperatura y salinidad sobre el transecto 2°N, en la superficie de la CPC y a 30 m de profundidad.

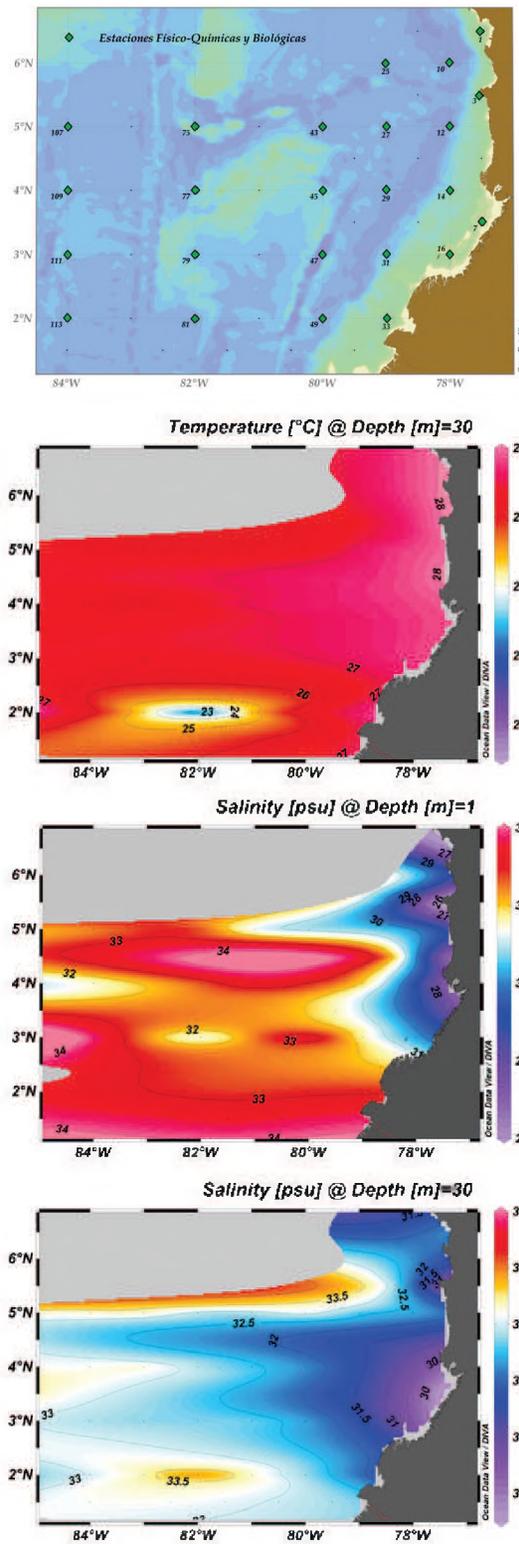


Figura 5 B. Comportamiento a profundidad de la temperatura y salinidad sobre el transecto 2°N, en la superficie de la CPC y a 30 m de profundidad.

DISCUSIÓN

La presencia de bajas concentraciones de nutrientes en superficie (NIT, silicato y fosfato) y su aumento gradual a medida que se aumenta la profundidad (figura 3 y tabla I), corresponde al comportamiento característico del océano según [20]. Además [10,11] refuerza la idea de la presencia de afloramientos en la CPC. Estos estudios basados en el comportamiento de la temperatura y salinidad permitieron identificar zonas de afloramiento centradas principalmente sobre los 82 y 80°W a lo largo de toda la CPC.

Este fenómeno sería la causa de lo observado en este estudio, apreciable en las figuras 3, 4 y 5. Es importante aclarar que por haberse realizado el seguimiento durante septiembre, la intensidad de la surgencia entre los 2 y 3°N puede ser menor a la que posiblemente se pueda encontrar en otros meses del año, según lo dicho por [12, 7, 2]. Estos últimos autores mencionan el desarrollo de surgencias durante todo el año, aunque son afectados por el desplazamiento de los frentes atmosféricos que se desencadenan a partir del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). El desarrollo de estos afloramientos también podría estar relacionado de forma indirecta con corrientes como la Corriente Ecuatorial del Sur, alimentada por la Corriente del Perú y la Contracorriente Ecuatorial. Esta última corriente caracterizada por presentar temperaturas cercanas a 25°C y salinidades inferiores a 34, interactúa con la Corriente Ecuatorial del Sur, de temperaturas inferiores a 21°C y salinidades mayores a 36. El punto de encuentro de ambas corrientes es conocido como Frente Ecuatorial, descrito previamente por autores como [21, 4, 22], quienes lo han caracterizado como una zona altamente productiva relacionada con una alta productividad pesquera principalmente. La ubicación de dicho frente coincide con la frontera marítima entre aguas colombianas y ecuatorianas, además de albergar los domos peruano y ecuatorial [23]. Este frente podría estar influyendo en la alta productividad primaria en términos de nueva producción, relacionada con disponibilidad de nuevos nutrientes por acción de afloramientos principalmente.

En la Figura 3 se observaron dos regiones de altas concentraciones de fosfatos relacionados con las desembocaduras del río San Juan y la Bahía de Tumaco. Gracias a las

descargas de ríos y procesos metabólicos se ponen a disposición también nutrientes que favorecen la bomba biológica [17].

Si bien se considera que la CPC es una zona altamente productiva, dicha productividad no es tan alta como en otras regiones, a pesar de presentar altas concentraciones de nutrientes. Esto hace que la cuenca se califique como una zona de altos niveles de nitrato y bajos de clorofila *High Nutrient Low Chlorophyll* (HNLC, por sus siglas en inglés), según autores como [24, 25].

La presencia de un gradiente de nutrientes, principalmente de NIT y fosfato, desde la costa hacia aguas oceánicas y el comportamiento inverso de la clorofila *a* (Figura 4) podría deberse al desarrollo de afloramientos costeros. Si bien las aguas afloradas ponen a disposición nutrientes, el aprovechamiento de dichos nutrientes por parte de los organismos planctónicos no es inmediato, razón por la cual las concentraciones de biomasa fitoplanctónica son bajas en el foco del afloramiento. Después de cierto tiempo de adaptación y el transporte de dichos nutrientes hacia aguas más oceánicas, la masa de agua enriquecida y un poco más cálida es gradualmente empleada por los organismos, convirtiéndose las aguas oceánicas en aguas enriquecidas en términos de biomasa fitoplanctónica [26]. En el margen costero de la cuenca, donde la influencia de la descarga de los ríos es mayor, el procesamiento del exceso de materia orgánica por parte de los organismos heterótrofos y bacterias descomponedoras hace que dichos nutrientes queden a disposición en la columna de agua, desencadenando concentraciones altas de oxígeno y dióxido de carbono (ambos importantes productos de procesos respiratorios y metabólicos de diferentes organismos), con lo cual el pH de la capa eufótica tiende a ser más básico [13], tal y como se observa en la Figura 2.

La presencia de nitrógeno (figuras 2 y 3) es un factor biolimitante [27] en los procesos metabólicos de organismos planctónicos que circulan en la columna de agua gracias a la dinámica de corrientes y mareas de la cuenca, descrita ampliamente por autores como [4, 18, 6, 7, 19]. Aunque en cercanías de las costas también se registraron altas concentraciones de pigmentos fotosintéticos, éstas podrían deberse a la batimetría que favorece la actividad fotosintética en razón a la baja profundidad y a la descarga de los ríos que des-

embocan en la cuenca. El silicato y el fosfato son, igualmente, bioelementos limitantes para la constitución de la estructura externa del plancton como microalgas y su presencia en superficie podría deberse a los afloramientos que posicionan en capas más someras, compuestos a base de sílice y fósforo que han sido degradados por procesos naturales de descomposición en la columna de agua [28, 29]. Según [30, 31] para septiembre, mes en el cual se realizó el muestreo de los parámetros químicos, las condiciones de temperatura indicaban condiciones neutrales con tendencia al desarrollo de un posible evento El Niño [30].

Si bien el comportamiento químico de la CPC podría deberse al estado neutral de la cuenca con respecto al desarrollo de un evento El Niño, se recomienda analizar una serie de tiempo más extensa y complementarla con análisis y correlaciones con otras variables para determinar posibles relaciones entre el comportamiento de los parámetros químicos y físicos y el ENOS.

CONCLUSIONES

El comportamiento de parámetros químicos y nutricionales para septiembre de 2012 pudo haber estado asociado con aspectos como descargas de ríos, procesos de afloramientos y presencia de corrientes en la cuenca, lo cual corresponde con lo descrito por diversos autores, pero se hace necesario un análisis de series de tiempo más extenso y completo para concluir más acertadamente sobre la relación con las variaciones estacionales espaciales y temporales del componente oceanográfico físico y químico.

Adicionalmente, se hace necesario relacionar con los resultados del análisis de la información nutricional, información de vientos, dirección y magnitud de corrientes, descargas de ríos e información meteorológica. Esto con el fin de complementar la información existente y permitir el desarrollo de una caracterización completa de los procesos de afloramientos en la CPC.

LITERATURA CITADA

- [1] Garay-Tinoco J.A, Gómez-López, D.I., Ortiz-Galvis, J.R. Eds. 2006. Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la Bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un Plan de Manejo. Proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma), Programa de Acción Mundial (PAM) y Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCC), Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño). Santa Marta.
- [2] Compilación oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. 2002. Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCC). Tumaco, 109 pp.
- [3] Pabón, J., J. Eslava & R. Gómez. 2001. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorol. Colomb. 4:47-59. ISSN 0124-6984.
- [4] Wooster W. 1959. Oceanographic observations in the Panama Bight. Askoy Expedition, 1941. Amer. Mus. Nat. Hist. Bull. 118(3):115-151.
- [5] Bjerknes J. 1961. El Niño study based on analysis of ocean surface temperatures, 1935-57 (in English and Spanish). Inter-Am. Trop. Tuna Comm.. Bull. 5 (3): 217-303.
- [6] Pineda A. 1995. Condiciones hidrológicas en la Cuenca del Pacífico Colombiano. Boletín Científico CCCC. (5): 73-97.
- [7] Rodríguez-Rubio E, Schneider W, Abarca del Río R. 2003. On the seasonal circulation within the Panama Bight derived from satellite observations of wind, altimetry and sea surface temperature. Geophysical Research Letters. 30 (7): 63-67.
- [8] Rodríguez-Rubio E, Giraldo A. 2011. Características oceanográficas en la Isla Malpelo y su relación con la Cuenca del Pacífico Colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost. 19-32.
- [9] Rojas-Higuera PJ, Ortiz JR. 2007. Comportamiento del fitoplancton durante el evento ENOS en el océano Pacífico colombiano. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 6: 5-15.

- [10] Villegas N. 1997a. Estudio del movimiento de las aguas en la región este de la cuenca del Pacífico colombiano. Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco. Bol. Cient. CCCP 6: 71-80.
- [11] Villegas, N. 1997b. Movimiento vertical de las aguas en el Pacífico colombiano durante junio y octubre de 1996. Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco. Bol. Cient. CCCP 6: 81-93.
- [12] Villegas, N. 2002. Evolución mensual de las corrientes verticales y zonas de surgencia en la cuenca del Pacífico colombiano-CPC. Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco. Bol. Cient. CCCP 9: 29-36.
- [13] Manual de Cruceros Oceanográficos. 2012. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. 2012. San Andrés de Tumaco, 51 pp.
- [14] APHA, AWWA, WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Ed. Washington, American Public, Health Association.
- [15] Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. J. Fish. Res. Bd. Canada.
- [16] Murphy, J. & Riley, J.P. 1958. A single-resolution method for determination of soluble phosphate in sea water. J. Mar. Boil. Ass. 37: 9-14.
- [17] Gómez, C. y Martínez, I. 2005. Nueva productividad biológica en el Pacífico Oriental Ecuatorial: respuesta al aporte de nutrientes por los ríos del Pacífico colombiano, surgencia costera y polvo atmosférico. Boletín de Geología (2): 99-114.
- [18] Andrade, C.A. 1992. Movimiento geostrófico en el Pacífico colombiano, Bol. Cient. CIOH, 12: 23-38.
- [19] Málikov, I. y Villegas, N. 2010. Proceso de mezcla vertical en las masas de agua de la Cuenca Pacífica Colombiana y comportamiento anual de sus características termohalinas. Geología Colombiana 35: 102-112.
- [20] Pilson, M.E.Q. 1998. An introduction to the chemistry of the sea: Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall. 431 pp.
- [21] Wyrtki, K. 1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol. Limnol. 1 (2), 117-147.
- [22] Pak, H. & J. R. Zaneveld. 1974. Equatorial Front in the Eastern Pacific Ocean. Vol. 4, No. 4, pp. 570-578.
- [23] Betancur, M. & Martínez, I. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos de fondo de la Cuenca de Panamá (Pacífico colombiano), como indicadores de productividad y oxigenación. Boletín Investigaciones Marinas y Costeras, 32: 93-123.
- [24] Barber, R. & Chávez, F. 1991. Regulations of primary production rate in the equatorial Pacific. Limnology Oceanography. Vol. 36, 1803-1815.
- [25] Cullen, J.J. 1991. Hypotheses to explain high-nutrient conditions in the open sea. Limnol. Oceanogr. 36: 1578-1599.
- [26] Mann, K. & J. Lazier. 2006. Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in the Oceans. 3rd. ed. ISBN-10: 1-4051-1118-6. 444 pp.
- [27] Hutchins, D.A., Mulholland, M.R, & Fu, F. 2009. Nutrient cycles and marine microbes in a CO₂ enriched ocean. Oceanography. 22: 128-145.
- [28] Martin-Jézéquel, V., Hildebrand, M. & Brezinski, M.A. 2000. Silicon metabolism in diatoms: implications for growth. J. Phycol. (36):821-840.
- [29] Goldberg, E.D., Walker, T.J. & Whisenand, A. 1951. Phosphate utilization by diatoms. Biological Bulletin. (101): 274-284.
- [30] Comisión Permanente del Pacífico Sur. 2012. Boletín de Alerta Climático BAC No. 264. Septiembre.
- [31] Multivariate ENSO Index (MEI). [Internet]. U.S. Department of Commerce: National Oceanic & Atmospheric Administration. [citado 2013 jul 30]. [Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/index.html>].

