

Variabilidad de parámetros fisicoquímicos en una estación oceánica frente a la Bahía de Tumaco

Variability of physic-chemical parameters on oceanic station in front of the Tumaco Bay

Fecha de recepción: 2012-02-15 / Fecha de aceptación: 2012-07-25

Robinson Fidel Casanova Rosero¹, Mónica María Zambrano Ortiz²,
Sadid Antonio Latandret Solana³, Nigireth Paola Suárez Vargas⁴,
Cindy Bibiana Albán Illera⁵

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Área de Protección del Medio Marino. Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia. Teléfono: +57 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) 727 11 80

¹rcasanova@dimar.mil.co, ²mzambrano@dimar.mil.co, ³slatandret@dimar.mil.co, ⁴nsuarez@dimar.mil.co, ⁵balban@dimar.mil.co

³Casanova, R., Zambrano, M., Latandret, S., Suárez, N. y Albán, C. 2012. Variabilidad de parámetros fisicoquímicos en una estación oceánica frente a la Bahía de Tumaco. Bol. Cient. CIOH (30): 105-116.

RESUMEN

A partir de la información obtenida del monitoreo realizado con periodicidad quincenal a una estación con características oceánicas, localizada en la zona sur del Pacífico colombiano, específicamente frente a la Bahía de Tumaco, se evaluó el comportamiento temporal de algunas variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto), clorofila a y nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos), durante el periodo comprendido entre 2007 y 2011, con el fin de contribuir al conocimiento sobre cambios en el patrón de comportamiento que se puedan presentar ante la ocurrencia de eventos o fenómenos que tengan incidencia en la región. Su ubicación geográfica la consolida como indicadora de la variabilidad de parámetros oceanográficos; puesto que está influenciada por factores meteomarineros asociados con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la dirección de los vientos y la Corriente de Colombia. En este aspecto, un cambio notorio en el comportamiento de las isotermas, las isohalinas y los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua se presentó durante el primer trimestre de cada año, registrando entre la superficie y los 20 m, un delta promedio de 7,9 °C para la temperatura y de 2,8 psu para la salinidad, atribuible al surgimiento de aguas frías subsuperficiales causadas por corrientes profundas y favorecidas por la dirección de los vientos, que para la época van en dirección noreste debido al movimiento de la ZCIT; este surgimiento conllevó a un aumento en las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos, los cuales alcanzaron niveles de 1,94 µg at P-(PO4)-3/L para fosfatos; 4,65 µg at N-NH4+/L para amonio, y en varias ocasiones por encima de 10 µg at N-NO3-/L para nitratos, valores superiores a los normalmente encontrados en el punto de estudio; las variaciones en las condiciones fisicoquímicas del área fueron de mayor intensidad durante marzo y abril de 2009; al igual que en enero y febrero de 2011; manifestándose además con un aumento en las concentraciones de clorofila a con valores de hasta 2,35 mg/m³ y una disminución en los niveles de oxígeno disuelto, cayendo en ocasiones por debajo de 2,5 mg O₂/L.

Palabras clave: variables fisicoquímicas, nutrientes, estación oceánica, Bahía de Tumaco.

ABSTRACT

The information obtained of the monitoring realized fortnightly periodicity an oceanic station, located in the southern Colombian Pacific, specifically in front Tumaco Bay, it was evaluated the temporal behavior of some physicochemical variables (salinity, temperature, dissolved oxygen), chlorophyll a and nutrients (ammonia, nitrites, nitrates, phosphates and silicates), during the period between 2007 and 2011, in order to contribute to knowledge about changes in the pattern of behavior that can be submitted to the occurrence of events or phenomena that are relevant for the region. Its geographical location consolidates as an indicator of the variability of oceanographic parameters, since meteomarine is influenced by factors associated with the Intertropical Convergence Zone -ITCZ, the wind direction and current Colombia. In this respect, a marked change in the behavior of the isotherms, isohalines and the physicochemical parameters of the water column was presented during the first quarter of each year, registering between the surface and 20 m, a delta average of 7,9 °C for temperature and 2,8 psu to salinity, due to the emergence of subsurface cold waters caused by deep currents and favored by the direction of the winds, which at the season are in the northeast due to the movement of the ITCZ; this led to an increase the concentrations of dissolved inorganic nutrients, which reached levels of 1,94 µg at P-(PO4)-3/L for phosphates; 4,65 µg at N-NH4+/L for ammonium, and repeatedly above 10 µg at N-NO3-/L for nitrate, values higher than those usually found at the point of study, the changes in the physicochemical conditions of the area were more intense during March and April 2009; as in January and February 2011, also manifested with increased chlorophyll a concentrations with values up to 2,35 mg/m³ and a decrease in dissolved oxygen levels, at times falling below 2,5 mg O₂/L.

Key words: physicochemical variables, nutrients, oceanic station, Tumaco Bay.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Pacífica Colombiana (CPC) presenta características especiales por estar ubicada dentro de la región de bajas presiones atmosféricas conocida como: Concavidad Ecuatorial, en la cual convergen los vientos Alisios de cada hemisferio para formar la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) [1], cuyo desplazamiento estacional afecta las condiciones hidroclimáticas y modula el campo de corriente superficial costero, donde se destaca la Corriente de Colombia como la principal característica oceanográfica de la región [2].

La CPC presenta influencia de los vientos Alisios del Norte al principio y al final del año, y de vientos Alisios del Sudoeste durante el periodo complementario, mostrando el desplazamiento de la ZCIT hacia el Sur durante el primer trimestre y hacia el Norte durante el segundo semestre [3].

Dinámicamente los Alisios del sureste tienden a invertir su dirección predominante del Este cuando atraviesan el Ecuador por efecto de Coriolis, especialmente cuando la ZCIT se desplaza hacia el norte [4]. Las condiciones de viento que son en mayor proporción influenciadas por migración de la ZCIT y el desarrollo del chorro de viento en el istmo de Panamá: determinan en gran medida la variabilidad de las condiciones oceanográficas en el Pacífico colombiano [5].

Los factores generales que ocasionan la formación de los regímenes hidrodinámicos y termohalinos en la CPC son la radiación solar, la distribución del viento, la precipitación, la intensidad de los aportes fluviales en las desembocaduras de los ríos y las variaciones de la corriente de Humboldt y la contracorriente Ecuatorial (CCE) [6]. Es por esto que la circulación oceánica en superficie está estrechamente relacionada con la circulación atmosférica.

Las masas de agua en el Pacífico colombiano forman parte del sistema anticiclónico de corrientes del Pacífico Oriental, cuyos principales componentes en el Hemisferio Norte son las corrientes de California y Ecuatorial Septentrional; y en el Hemisferio Sur, las corrientes de Perú, Humboldt y Sur ecuatorial [7].

Cuando se produce el desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Sur hacia el suroeste, en los años el fenómeno de El Niño, se debilitan los Alisios fuertes y continuos que empujan las

aguas calientes superficiales del Pacífico desde las costas de Sudamérica hasta Indonesia. Ello origina el retorno de las aguas calientes del Oeste hacia el continente americano, reforzando la contracorriente Ecuatorial. El retorno de las aguas es favorecido por las ondas de Kelvin que se desplazan de Oeste a Este a nivel de la termoclina, ocasionando una modificación de la estructura vertical del océano al profundizar la termoclina cerca del continente americano. Parte de esta corriente cálida que se dirige hacia el Sur, impide a la corriente fría de Humboldt alcanzar la latitud del Ecuador, produciendo una baja de la termoclina y bloqueando el efecto surgencia [8].

La variación en las condiciones oceanográficas y meteorológicas tiene influencia directa sobre la distribución y variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y de los nutrientes, que se constituyen en factores determinantes en la productividad, la calidad y la composición de los ecosistemas.

En el Pacífico Tropical, la ocurrencia de fenómenos climáticos de incidencia global como El Niño y La Niña, genera alteraciones en los patrones normales de las variables oceánicas y atmosféricas, en particular en Suramérica [9], razón por la cual el seguimiento a las condiciones oceanográficas en estas áreas reviste gran importancia.

Tras esta consideración, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP), a partir de 1989 estableció un punto de seguimiento a las condiciones oceanográficas del Pacífico colombiano, el cual se ha denominado Estación 5, con el fin de contribuir al conocimiento de los aspectos que determinan la ocurrencia de fenómenos ENOS. Su ubicación es estratégica ya que se encuentra localizada al sur del Pacífico colombiano, muy próxima a la Línea Ecuatorial, es indicadora de la variabilidad de parámetros oceanográficos; puesto que está influenciada por factores meteomarineros asociados con la ZCIT, la dirección de los vientos y la Corriente de Colombia la consolida como estación de referencia a nivel regional.

En el presente estudio se evaluó el comportamiento de las variables fisicoquímicas y de los nutrientes en esta estación fija ubicada a 10 mn frente a la Bahía de Tumaco durante el periodo comprendido entre 2007 y 2011; cubriendo un mayor periodo de tiempo con relación al trabajo realizado por Bastidas [10].

ÁREA DE ESTUDIO

La Estación 5 se encuentra localizada en la zona sur de la Costa Pacífica colombiana, en donde las lluvias son de tipo monomodal considerándose el invierno durante el primer semestre; éstas son acentuadas en el segundo trimestre; siendo la época de verano el segundo semestre.

Su ubicación geográfica corresponde a las coordenadas 78°85" longitud Este y 2°00" latitud Norte (Figura 1), con una profundidad aproximada de 170 m, frente a la Bahía de Tumaco a una distancia de 10 millas de la costa y es monitoreada sistemáticamente, con frecuencia quincenal, como parte del Estudio Regional Fenómeno El Niño (ERFEN).

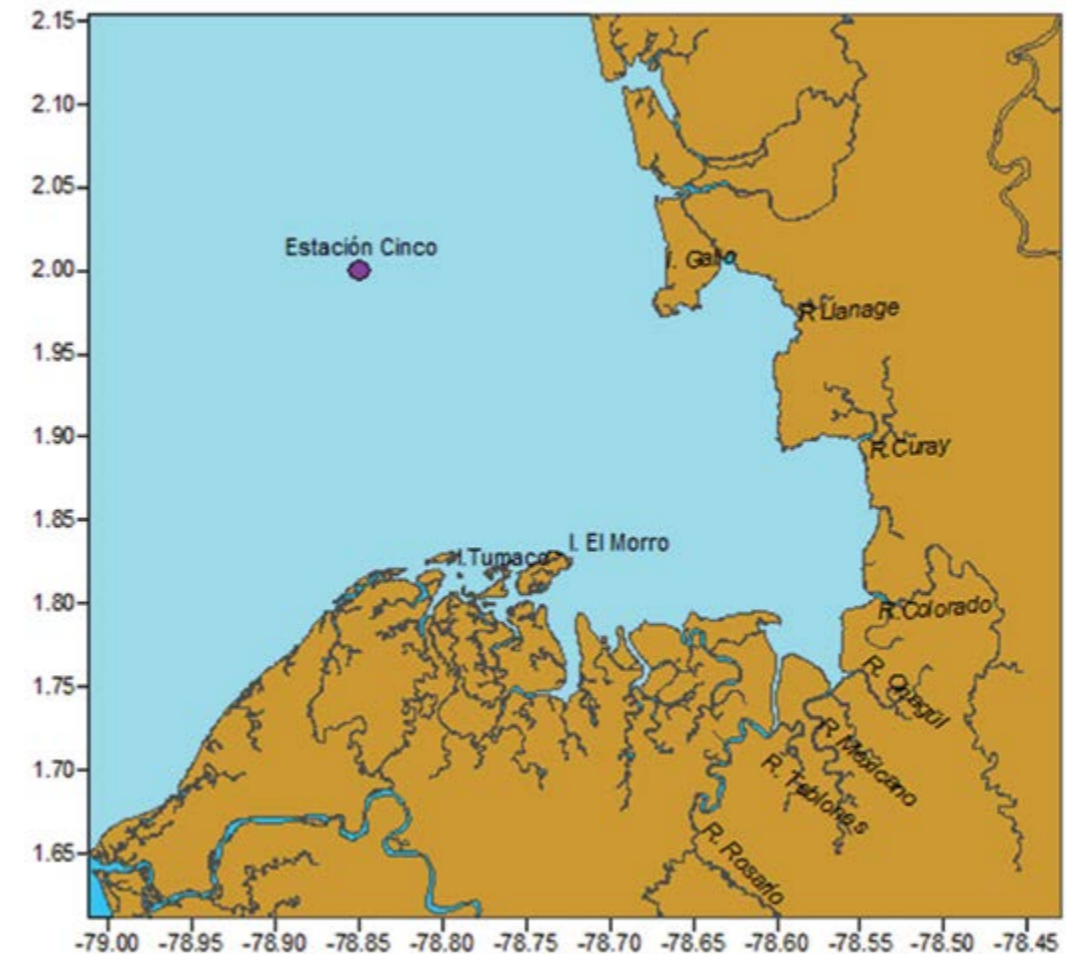


Figura 1. Bahía de Tumaco. Ubicación de la Estación 5.

METODOLOGÍA

En la Estación 5 se tomaron muestras de agua a 0, 10, 20 y 30 m de profundidad, para lo cual se empleó una botella Niskin de 5 L. Las muestras fueron preservadas y transportadas al Laboratorio de Química del CCCP para su posterior análisis. La temperatura, conductividad

y salinidad se midieron *in situ*, por medio de un CTD 19 *Seabird*. La determinación de oxígeno disuelto se basó en el método Winkler, fijando las muestras *in situ*.

Los análisis tendientes a determinar los niveles de nutrientes, oxígeno disuelto y clorofila *a* se realizaron siguiendo los métodos validados por el Laboratorio de Química del CCCP, y hacen

parte del alcance de la acreditación lograda ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), actualmente bajo vigilancia por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).

La determinación del amonio se realizó siguiendo el método colorimétrico del azul de indofenol, descrito por Strickland y Parsons [11]; para nitritos se siguió el método colorimétrico descrito por Bendschneider y Robinson [12]; para los nitratos el método colorimétrico de reducción con cadmio-cobre descrito Strickland y Parsons [11]; para fosfatos el método del ácido ascórbico de Murphy y Riley [13] y para silicatos el método del metol-sulfito descrito por Strickland y Parsons [11].

La determinación de la clorofila *a* y oxígeno disuelto se realizó aplicando el método tricromático 10200 H, y el método yodométrico 4500-O B, respectivamente, descritos en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* [14].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura

El comportamiento de la temperatura en el perfil de profundidad analizado muestra una evidente influencia del movimiento de la ZCIT y de la Corriente de Colombia [2], tomando en cuenta que esta última es una corriente fría que se caracteriza por el arrastre de aguas de baja salinidad hacia el norte a lo largo de la costa, permitiendo la entrada de aguas oceánicas de temperaturas más bajas que provienen del frente ecuatorial de transición, fenómeno que se manifiesta especialmente de diciembre a abril y de mayo a junio [15].

La influencia de estos fenómenos se marcó en los primeros meses de cada año durante el período evaluado; comportamiento que pudo atenuarse o acentuarse bajo la ocurrencia de variaciones térmicas que se presentan en la cuenca del Pacífico Oriental; situación que se evidenció durante los cuatro primeros meses de los años evaluados (exceptuando 2010) en los que las condiciones frías se acentuaron especialmente durante 2009 y 2011, coincidiendo este último

año con un evento La Niña, desarrollado entre julio de 2010 y abril de 2011.

Las condiciones registradas durante el primer trimestre de 2009 en la Estación 5 presentaron un comportamiento análogo frente al observado en dos estaciones fijas ubicadas a 10 millas de la costa ecuatoriana, comportamiento influenciado por la corriente de Humboldt. Posteriormente, para abril se inició un periodo de transición hacia la evolución de un evento cálido (El Niño 2009–2010) en la región [16].

Los registros mínimos anuales presentados durante el primer trimestre confirman el surgimiento de aguas subsuperficiales de menor temperatura, (Figura 2) en los primeros meses de cada año; comportamiento caracterizado por Díaz *et al.*, [17] en la CPC.

Durante el primer trimestre del 2007 se observó un movimiento de la isoterma habitual hacia la superficie; este comportamiento se relaciona con la ocurrencia de un evento La Niña, catalogado como el de más alto promedio de la anomalía entre los eventos registrados durante el periodo comprendido entre 1951 y 2007, y el segundo en intensidad después del presentado entre 1954 y 1956 [18].

La disminución en la temperatura se presentó de manera recurrente durante el primer trimestre de cada año; sin embargo, debido al episodio neutral que se inició desde septiembre de 2009 y el post Niño extendido hasta julio del 2010 en la región 1+2 del Pacífico Oriental [16], este comportamiento fue debilitado y por ende no se observó en el perfil evaluado.

Durante el periodo evaluado a nivel superficial se registró una temperatura mínima de 26,3 °C con un promedio de 27,4 °C; valor muy similar al promedio obtenido a 10 m (27,0 °C); indicando una homogeneidad en este perfil de la columna de agua, por lo que se puede inferir que cuando la temperatura es cercana a los 25 °C a esta profundidad (10 m), se aproxima la llegada de condiciones frías, y una vez ocurre el fenómeno propiamente dicho ésta cae por debajo de los 24 °C.

A profundidades de 20 y 30 m los valores mínimos fueron de 15,6 y 14,2 °C, respectivamente; siendo estas variaciones amplias con respecto a los promedios obtenidos para el periodo evaluado, los cuales fueron de 26,2 y 25,5 °C, correspondientemente.

Este parámetro registró un promedio de 27,2 °C en el perfil de los primeros 30 m para los meses comprendidos entre mayo y diciembre del período evaluado.

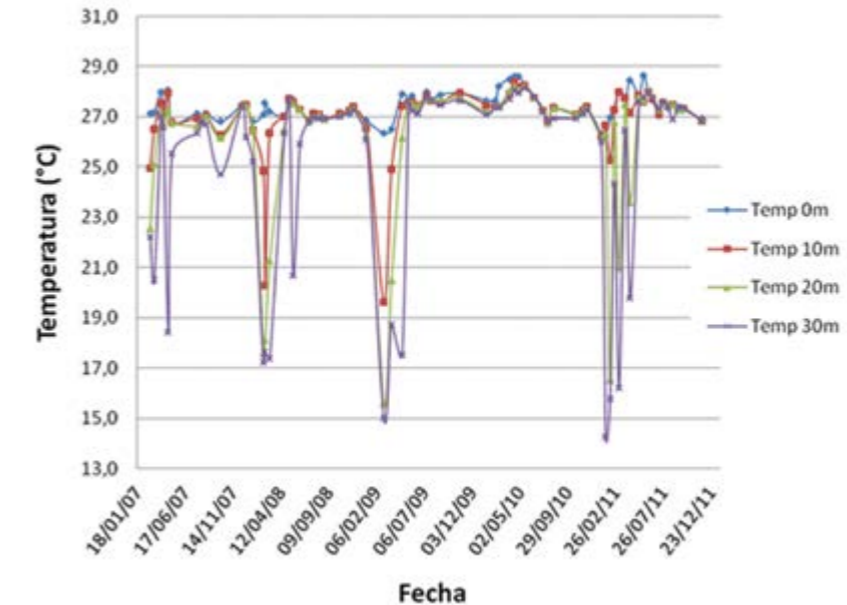


Figura 2. Comportamiento de la temperatura (enero de 2007–diciembre de 2011).

Salinidad

La salinidad mostró un comportamiento inverso al de la temperatura (Figura 3), reflejado en un incremento como consecuencia de una surgencia de aguas frías, es así como las isohalinas de valores superiores a 33 psu se desplazaron de su posición habitual en los primeros trimestres de cada año, hacia menos de 10 m de profundidad.

La presencia de eventos con efecto de surgencia se observó a lo largo de la columna de los 30 m, en la que se determinó un promedio de 32,2 psu, con un máximo de 35,0 psu y un mínimo 28,4 psu. La segunda mitad de cada año se caracterizó por presentar un comportamiento homogéneo entre los 10 y 30 m (Figura 3).

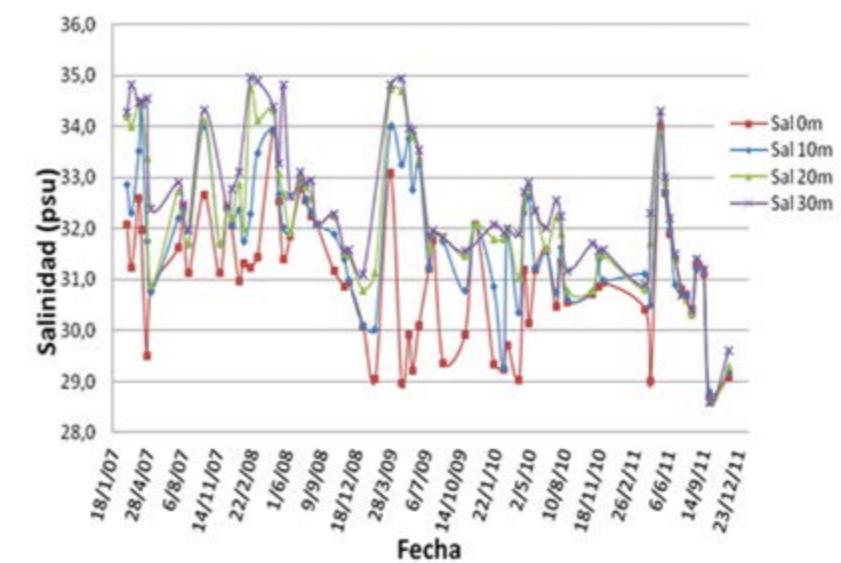


Figura 3. Comportamiento de la salinidad (enero de 2007–diciembre de 2011).

A nivel superficial el comportamiento de la salinidad se ve influenciado por la precipitación en la zona, la cual se presenta con mayor intensidad durante los primeros meses del año.

Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno es un gas con alta dinámica en el medio marino debido a que se encuentra comprometido en diversos procesos biogeoquímicos, los que a la vez dependen de otros factores como temperatura y presión.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por su sigla en inglés) [19]; los niveles de OD por encima de 4 mg O₂/L favorecen la supervivencia de las especies marinas; mientras que concentraciones entre 1 y 3 mg O₂/L indican condiciones de hipoxia, que son perjudiciales para la vida marina,

y niveles por debajo de 1 mg O₂/L indican anoxia, una condición no apta para el desarrollo de la misma.

Bajo condiciones habituales en la zona, la variabilidad en los niveles de OD fue mínima, con promedios anuales comprendidos entre 6,59 ± 0,40 mg/L y 6,73 ± 0,31 mg O₂/L, y un promedio total para el periodo de estudio de 6,65 ± 0,33mg O₂/L, equivalente al 99,6 % de saturación de oxígeno bajo las condiciones de salinidad y temperatura determinadas (27, 2 °C y 31,5 psu).

Se observaron cambios notorios en la concentración del OD entre los niveles superficiales y los 20 m durante la ocurrencia de eventos fríos (Figura 4) y por ende es característico de estas aguas el presentar condiciones de hipoxia. Permitiendo establecer que cuando la concentración de oxígeno a los 20 m cae por debajo de los 5,5 mg/L, es indicativo de un afloramiento.

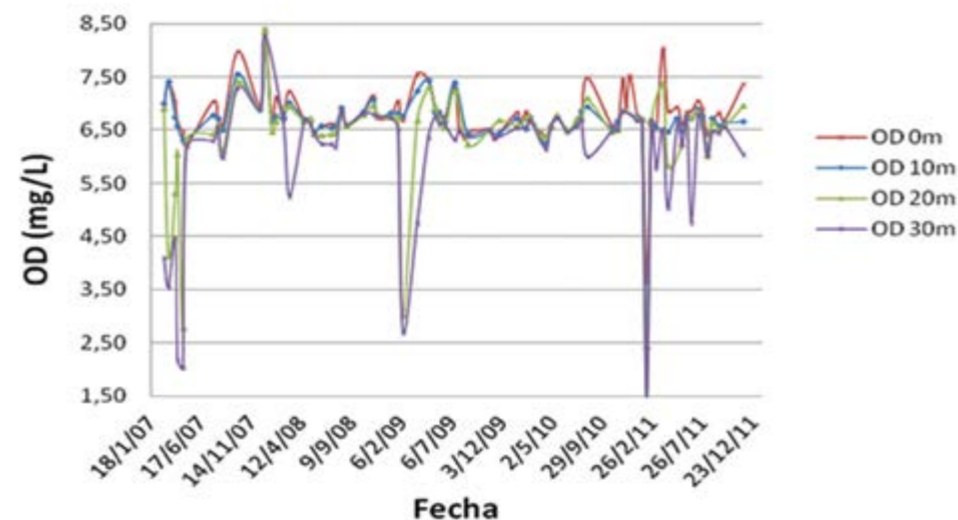


Figura 4. Comportamiento del oxígeno disuelto (enero de 2007–diciembre de 2011).

Clorofila a

Es un indicador de la abundancia y biomasa del fitoplancton en las aguas marinas, costeras y estuarinas. Elevadas concentraciones de clorofila *a* no necesariamente implican situaciones adversas; sin embargo, la persistencia a largo plazo de niveles elevados constituye un problema. En el mar es natural que los niveles de clorofila *a* fluctúen

con el tiempo, puesto que están principalmente influenciadas por el contenido de nutrientes, turbidez, condiciones meteorológicas como por ejemplo la radiación solar, y por ende, la hora del día.

Los niveles de clorofila *a* bajo condiciones habituales durante el período evaluado conllevaron a un promedio de 0,62 ± 0,40 mg/m³; no obstante, también se encontraron valores que alcanzaron

los 2,35 mg/m³, cuando se favorecieron las condiciones asociadas a bajas temperaturas y concentraciones relativamente altas de nutrientes (Figura 5).

El promedio registrado través de la columna de los 30 m fue mayor durante los periodos en

los que se manifestó enfriamiento alcanzando 0,79 ± 0,43 mg/m³, con el promedio más bajo a nivel superficial de 0,69 ± 0,26 mg/m³ y el más alto a los 10 m, equivalente a 0,90 ± 0,47 mg/m³ debido a que se favoreció el flujo de nutrientes provenientes del fondo.

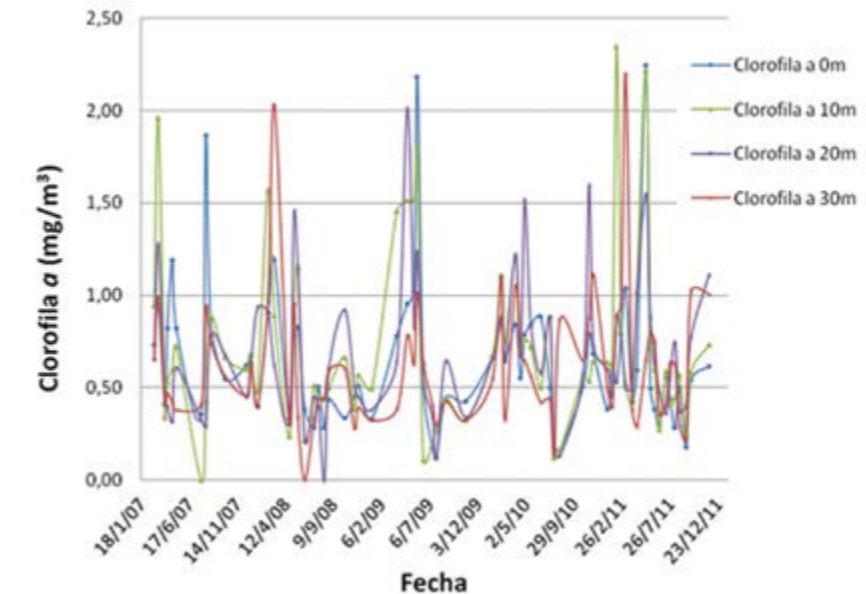


Figura 5. Comportamiento de la clorofila *a* (enero de 2007–diciembre de 2011).

Nutrientes

El exceso de nutrientes puede provocar floración de algas nocivas, sin embargo estos efectos adversos dependen de otros factores [19]. El aumento en la concentración de nutrientes a niveles superficiales en el océano se debe principalmente a fenómenos de surgencia.

Entre los nutrientes se destacan el nitrógeno y fósforo en su forma disuelta como los parámetros claves en la productividad primaria.

Compuestos nitrogenados

El nitrógeno amoniacal ([NH₄]⁺) en los ecosistemas acuáticos es producto de la descomposición de la materia organonitrogenada y del intercambio de gases con la atmósfera.

Las concentraciones de amonio fueron relativamente bajas, en su mayoría estuvieron por debajo de 2,0 µg at N-(NH₄)⁺/L, y en escasas ocasiones se registraron niveles mayores (Figura 6). Los niveles más altos se encontraron a los 30 m, coincidiendo con los períodos de entrada de aguas frías. Durante condiciones 'normales' los promedios anuales fueron muy similares a través de la columna de agua y estuvieron entre 0,74±0,65 µg at N-(NH₄)⁺/L y 1,25±0,91 µg at N-(NH₄)⁺/L.

Según NOAA [20], los valores de nitratos para el Pacífico Ecuatorial a nivel superficial pueden llegar hasta 22 µg at N-(NO₃)⁻/L. La mayor parte de los registros obtenidos a lo largo del estudio variaron entre <0,11 y 6 µg at N-(NO₃)⁻/L bajo condiciones habituales en la zona.

De manera similar al amonio, las concentraciones más altas de nitratos se observaron durante los primeros meses de cada año (Figura 7), presentando un aumento

marcado de los promedios habituales que se encuentran alrededor de $0,5 \mu\text{g at N-(NO}_3\text{)}^-/\text{L}$ hasta los 30 m, los cuales bajo las condiciones frías alcanzaron $3,13 \pm 5,61 \mu\text{g at N-(NO}_3\text{)}^-/\text{L}$ y $6,54 \pm 7,47 \mu\text{g at N-(NO}_3\text{)}^-/\text{L}$ para los 20 y 30 m, respectivamente.

bajas de nitritos (Figura 8) obedecen a la inestabilidad química de este ion asociada a la oxidación rápida a nitrato; conllevando a que en varias ocasiones éste se encuentre por debajo del límite de detección ($0,02 \mu\text{g at N-(NO}_2\text{)}^-/\text{L}$) del método.

Un comportamiento análogo se observó con los nitritos, cuya concentración promedio fue de $0,1 \mu\text{g at N-(NO}_2\text{)}^-/\text{L}$ entre la superficie y los 30 m; y de $0,38 \pm 0,51 \mu\text{g at N-(NO}_2\text{)}^-/\text{L}$ y $0,46 \pm 0,45 \mu\text{g at N-(NO}_2\text{)}^-/\text{L}$ para los 20 y 30 m, correspondientemente. Las concentraciones

En la Figura 9 se presenta una relación del comportamiento registrado por el nitrógeno inorgánico total (NIT), el cual corresponde a la suma de las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos; y se asocia estrechamente al comportamiento de dichos constituyentes.

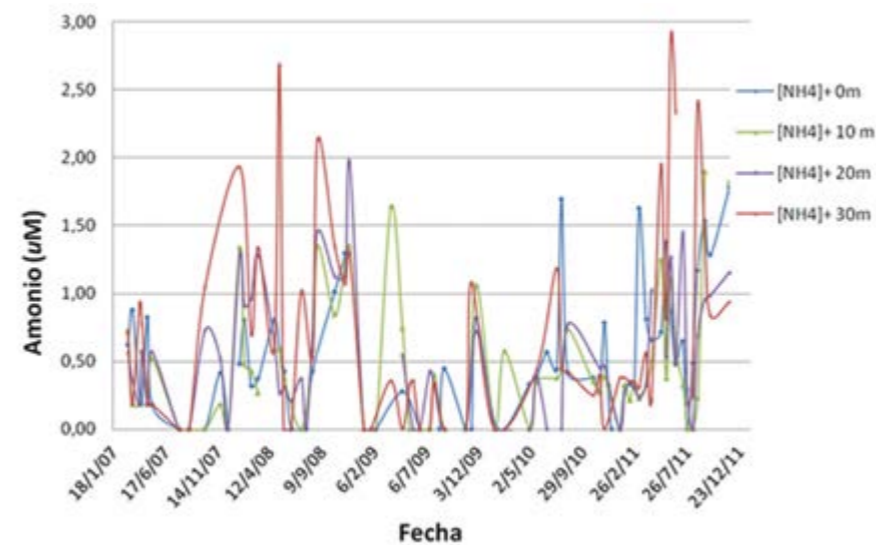


Figura 6. Comportamiento del amonio (enero de 2007–diciembre de 2011).

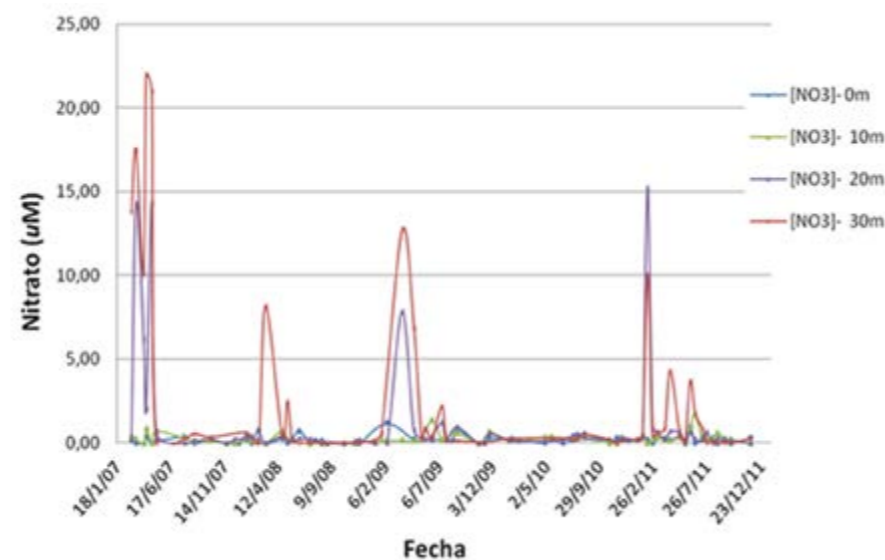


Figura 7. Comportamiento de nitratos (enero de 2007–diciembre de 2011).

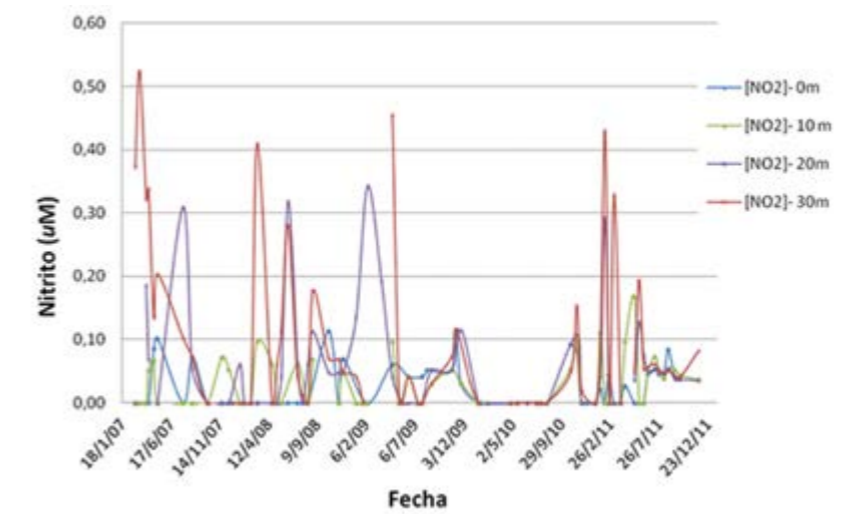


Figura 8. Comportamiento de nitritos (enero de 2007– diciembre de 2011).

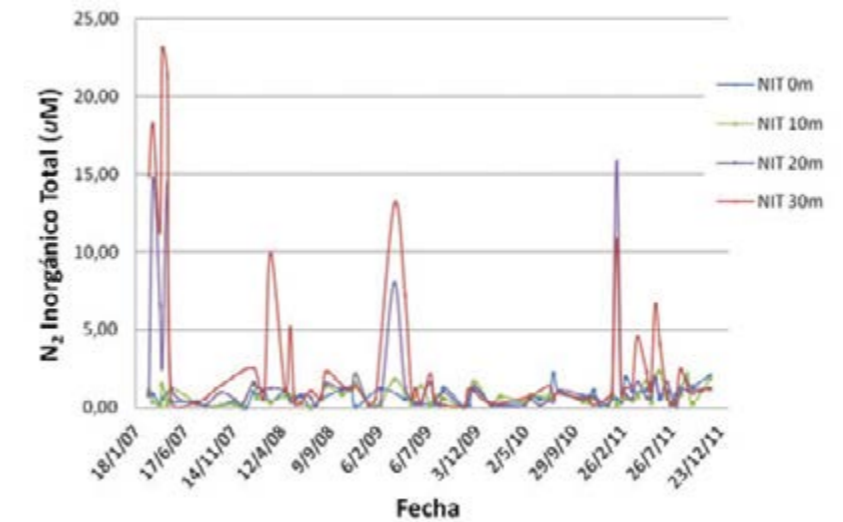


Figura 9. Comportamiento del NIT (enero de 2007–diciembre de 2011).

Fosfatos

La mayoría de los niveles de fosfatos determinados en la Estación Cinco estuvieron entre el límite de detección del método ($< 0,06 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$) y $0,6 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$.

Las concentraciones más altas se determinaron durante los períodos en que se presentaron enfriamientos, registrando en ocasiones niveles entre 1 y $1,94 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$ (Figura 10); los cuales se encuentran dentro los valores referenciados por NOAA [20] a nivel superficial

para el Pacífico Ecuatorial, establecidos entre no detectables y $2,0 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$.

Con relación a los promedios anuales, excluyendo los primeros cuatro meses, el valor más bajo fue determinado durante 2011 con $0,08 \pm 0,05 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$ y el más alto en 2007 con $0,26 \pm 0,13 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$. Las concentraciones medias durante el período de estudio mostraron una proporcionalidad con el aumento de la profundidad después de los 10 m, partiendo desde $0,16 \pm 0,12 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$ para este perfil, hasta $0,25 \pm 0,27$ y $0,35 \pm 0,46 \mu\text{g at P-(PO}_4\text{)}^{3-}/\text{L}$ para los perfiles de 20 y 30 m, respectivamente.

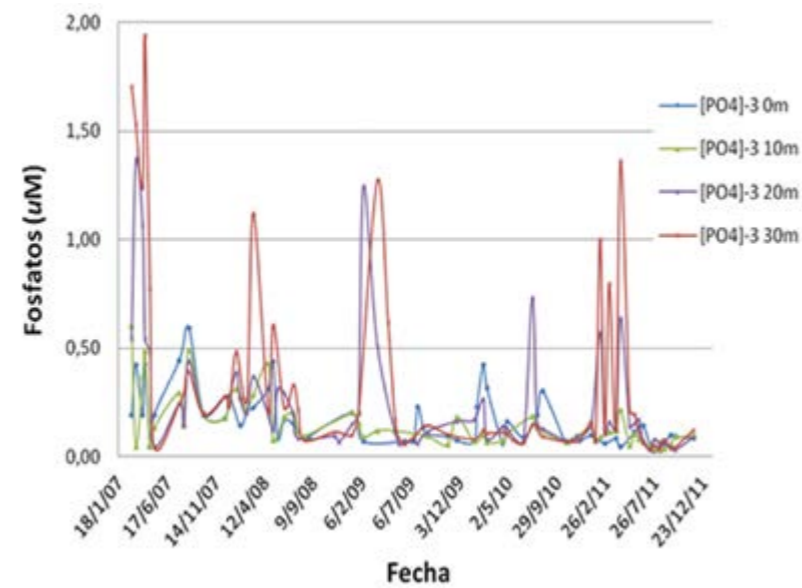


Figura 10. Comportamiento fosfatos (enero de 2007–diciembre de 2011).

Silicatos

El silicio disuelto en el agua de mar se encuentra esencialmente en forma de ácido ortosilícico, y es indispensable en el crecimiento y reproducción de las diatomeas. Su presencia en el agua de mar proviene de la disolución de sales minerales, principalmente de los aluminosilicatos, pero también de la degradación de silicio orgánico en particular.

Los silicatos presentaron un comportamiento homogéneo en el perfil de los 10 a los 30 m con un promedio de $4,18 \mu\text{g at Si}-(\text{SiO}_3)^{-2}/\text{L}$, con niveles que en su mayoría estuvieron por debajo de $10 \mu\text{g at Si}-(\text{SiO}_3)^{-2}/\text{L}$ (Figura 11); no obstante en algunas ocasiones a nivel superficial se encontraron concentraciones próximas a $30 \mu\text{g at Si}-(\text{SiO}_3)^{-2}/\text{L}$, las cuales se clasifican dentro del rango de establecido para el Pacífico

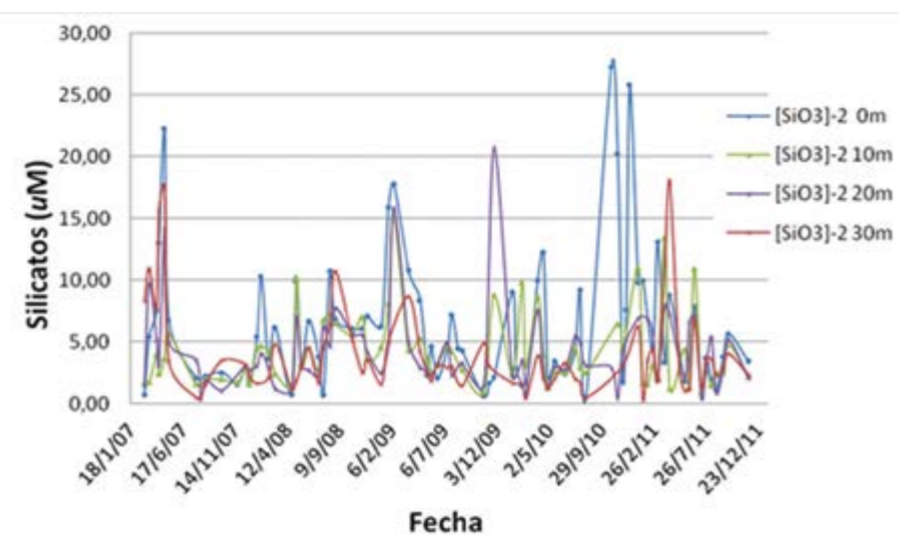


Figura 11. Comportamiento de silicatos (enero de 2007–diciembre de 2011).

Ecuatorial que de acuerdo con NOAA [20] pueden alcanzar los $80 \mu\text{g at Si}-(\text{SiO}_3)^{-2}/\text{L}$ entre profundidades de 0 a 400 m.

Tras lo anterior, los bajos niveles de nutrientes, principalmente relacionados con los compuestos de nitrógeno y fósforo en el perfil de los 0 a 30 m, permiten catalogar esta zona como activa, debido al consumo y la alta interacción en los procesos de producción de materia y energía comprometidos en los ciclos biogeoquímicos. No obstante, podría inferirse que a profundidades mayores los niveles de los nutrientes resaltados se acentúan respecto a los del perfil analizado, y se constituyen en una fuente hacia las capas superiores.

Asimismo, el primer trimestre de cada año, caracterizado por la presencia de bajas temperaturas, alta salinidad y una apreciable concentración de nutrientes, genera condiciones propicias para que se presente cierta afluencia de determinados recursos hidrobiológicos. De acuerdo con Rodríguez-Rubio y Stuardo [21], esta situación se genera por el bombeo de Ekman resultante del efecto rotor del chorro de viento de Panamá que favorece el ingreso de agua subsuperficial a la zona fótica de la CPC.

CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos y los nutrientes presentaron un incremento marcado durante el primer trimestre del año, comportamiento asociado con la periodicidad temporal de los fenómenos de surgencia, relacionados con el desplazamiento de la ZCIT y acentuados o atenuados por eventos como La Niña o El Niño.

Los fenómenos de surgencia que se presentan en la zona son temporales, provocan un arribo de agua marina con bajos niveles de oxígeno disuelto, altos niveles de nutrientes (fosfatos, amonio, nitritos y nitratos) y de salinidad.

Durante el período con presencia de eventos fríos, el aumento en la concentración de los nutrientes se traduce en un incremento en la concentración de clorofila *a*, que es un indicativo de la producción primaria.

El incremento de la clorofila *a* se constituye en un factor que favorece la producción de oxígeno; sin embargo, en las épocas de surgencia las aguas marinas con características de hipoxia no permiten marcar el proceso.

El monitoreo de las condiciones oceanográficas de la zona, permite conocer las interacciones fisicoquímicas y bioquímicas en el ecosistema, e igualmente brinda información de referencia para entender su comportamiento y su interrelación con procesos de productividad.

LITERATURA CITADA

- [1] Garay-Tinoco, J.A., Gómez-López, D.I. y Ortiz-Galvis J.R. editores. 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 (CCCP), Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño). Santa Marta; 2006.
- [2] Rodríguez-Rubio, E., Schneider, W. y Abarca del Río, R. *On the seasonal circulation within Panama Bight derived from satellite observations of winds, altimetry and sea surface temperature*. Geophys Res Lett. 2003; 30: 1410-1413.
- [3] Rueda Bayona, J., Rodríguez-Rubio E y Ortiz J. Caracterización espacio temporal del campo de vientos superficiales del Pacífico colombiano y el golfo de Panamá a partir de sensores remotos y datos *in situ*. Boletín Científico CCCP. 2007; (14): 49-68.
- [4] Zea, J.A. Baja Anclada del Pacífico. Meteorología Colombiana. 2003; 7: 109-116.

- [5] Rodríguez Rubio, E. y Giraldo López, A. Surgencia oceánica en el Pacífico colombiano durante febrero-marzo de 1997: aproximación oceanográfica utilizando sensores remotos. IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, San Andrés Isla; 2001.
- [6] Bubnov, V.A. Circulación de las Aguas de la Zona Ecuatorial del Océano Mundial. Leningrado Hidrometeoizdat. 1990.
- [7] CCCP. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. Serie de Publicaciones Especiales Vol. 1, Centro Control Contaminación del Pacífico-CCCP, Dimar, Tumaco, Colombia. 2002.
- [8] Corporación Andina de Fomento. El fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria: Retos y Soluciones. Vol. IV: Ecuador 2000. 304 pp.
- [9] Garreaud, R., Vuille, M., Compagnucci, R. y Marengo, J. Present-day South American Climate. PALAEO3 Especial Issue (LOTRES South America). 2009; 281 (3-4): 180-195.
- [10] Bastidas Pantoja, G.D. Evaluación temporal de parámetros fisicoquímicos en una estación oceánica frente a la Bahía de Tumaco. Boletín Científico CIOH. 2011; 29: 137-145.
- [11] Strickland, J.D.H. y Parsons, T.R. *A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. J. Fish. Res. Bd. Canada. 1972.*
- [12] Bendschneider, K. y Robinson, R.J. *A new Spectrophotometric Method for the determination of nitrite in sea water. J Mar Res. 1952; 11: 87-96.*
- [13] Murphy, J. y Riley, J.P. *A single-solution method for determination of soluble phosphate in sea water. J. mar. boil. Ass. 1958; 37: 9-14.*
- [14] APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th Ed. Washington, American Public Health Association. 2005.*
- [15] Stevenson, M.R., Guillen, G.O. y Santoro de Ycaza, J.S. *Marine atlas of the Pacific coastal waters of South America. Berkeley. University of California Press. 1970.*
- [16] Cruz, M., Tapia, M.E. y Naranjo, C. Especies planctónicas marinas como bioindicadoras de masas de agua frente a la costa ecuatoriana durante el evento El Niño 2009 – 2010. Acta Oceanográfica del Pacífico. 2011; 16 (1): 11-23.
- [17] Díaz, D., Málikov, I. y Villegas, N. Características de las zonas de surgencia de la cuenca del Pacífico colombiano y su relación con la Zona de Convergencia Intertropical. Boletín Científico CIOH. 2008; (26): 59-71.
- [18] Transmonte, G. y Silva, Y. Evento La Niña: propuesta de definición y clasificación según las anomalías de temperatura de la superficie del mar en el área Niño 1+2. Inf. Inst. Mar Perú. 2008; 35 (3): 199 – 208.
- [19] EPA. *Developing and Implementing an Estuarine Water Quality Monitoring, Assessment, and Outreach Program The MYSound Project, EPA/625/R-02/010 November 2002.*
- [20] NOAA. *Quality control and processing of historical oceanographic nutrient data. Washington, D.C. 1994. April. Technical Report Nesdis 79.*
- [21] Rodríguez-Rubio. E. y Stuardo, J. *Variability of photosynthetic pigments in the Colombian Pacific Ocean and its relationship with the wind field using ADEOS-I data. P. Indian Acad. Sci. (EarthPlanet Sci.). 2002; 111 (3): 227-236.*