

Variabilidad espacio-temporal del fitoplancton y variables oceanográficas en El Golfo de Guayaquil durante el 2013-15

Space-Temporal variability of fitoplancton and oceanographic variables in The Gulf of Guayaquil during 2013-15

Gladys Torres*¹, Sonia Recalde¹, Richard Narea¹, Willington Renteria¹, Luis Troccoli², Oscar Tinoco³

Recibido: Agosto 2015 - Aprobado: Diciembre 2015

RESUMEN

El Golfo de Guayaquil es el principal estuario Tropical del Pacífico Sudeste, tiene importancia ecológica y económica; su variabilidad oceanográfica está regulada por fluctuaciones estacionales de época húmeda y seca. El área de estudio es una estación fija al noreste de la Isla Santa Clara en el Golfo de Guayaquil, en una columna de agua (0-75m), con una periodicidad mensual durante 3 años (2013 al 2015), aplicando metodologías estandarizadas para la colecta determinación de variables oceanográficas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes) y del fitoplancton (grupos funcionales-principales especies). Los resultados evidenciaron aguas más cálidas entre marzo a mayo, siendo más evidente en el último trimestre del 2015, relacionada con el evento El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). La salinidad fue la variable más estable en la columna de agua. La distribución y concentración de oxígeno, presentó una capa superficial con alta concentración y otra capa subsuperficial con menor contenido de oxígeno. El nitrato fue el nutriente con mayor aporte significativo y con mayor variabilidad que el fosfato y silicato. La estructura y distribución del fitoplancton registró 166 especies durante los 3 años; 32 especies fueron más abundantes y correspondieron a las diatomeas. Su abundancia y diversidad fue dependiente de la profundidad. A nivel subsuperficial, no registró diferenciación en los 3 años. La relación del fitoplancton con las condiciones oceanográficas fue estadísticamente significativa, registró abundancias esporádicas de diatomeas (*Skeletonema costatum*, *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros curvisetus*, *C. affinis*, *C. didymus*) en la capa superficial, con escasos dinoflagelados. Los máximos fueron ubicados en la proximidad de termoclina (10-20m). *Gymnodinium* y *Gyrodinium* (dinoflagelados) y el ciliado *Myrionecta rubra* fueron frecuentes. La abundancia de diatomeas indicó la buena sostenibilidad alimentaria en el Golfo, evidenciando que las condiciones térmicas de El Niño fueron relativamente débiles sobre los productores primarios.

Palabras Clave: Fitoplancton; Oceanografía; Nutrientes; Estuario; Maricultura; El Niño.

* Autor para correspondencia

1. Instituto Oceanográfico de la Armada. Av. 25 julio vía Puerto Marítimo Base Naval Sur, Guayaquil Ecuador; gladys.torres@inocar.mil.ec
2. Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente. Isla de Margarita, Venezuela.
3. Universidad Nacional San Marcos-Lima-Perú; Docente.
4. Conferencia presentada en World Aquaculture Society Meetings-LACQUA - 2016-Lima-Perú

ABSTRACT

The Gulf of Guayaquil is the main tropical estuary of the Southeast Pacific, has ecological and economic importance. Its oceanographic variability is regulated by seasonal fluctuations in wet and dry seasons. The study area is a fixed station northeast of Santa Clara Island in the Gulf of Guayaquil, in a water column (0-75m), with a monthly frequency for 3 years (2013 to 2015), applying standardized methodologies for the Collection of oceanographic samples (temperature, salinity, nitrate and phosphate) and phytoplankton (functional groups - main species). The results showed warmer waters between March and May, being more evident in the last of 2015, related to the event El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Salinity was a more stable parameter in the water column. The distribution and concentration of oxygen, presented a surface layer with high concentration and another subsuperficial layer with lower oxygen. The nitrate was the nutrient with greater significant contribution and with greater variability than the phosphate and silicate. The structure and distribution of phytoplankton recorded 166 species during the 3 years; 32 species were more abundant and corresponded to diatoms. Its abundance and diversity was dependent on depth. At subsurface level, there was no differentiation in the 3 years. The relationship of phytoplankton with oceanographic conditions was statistically significant, with sporadic abundances of diatoms (*Skeletonema costatum*, *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros curvisetus*, *C. affinis*, *C. didymus*) on the surface layer, with few dinoflagellates. The maxima were located in the vicinity of thermocline and nutricline. *Gymnodinium* and *Gyrodinium* (dinoflagellates) and ciliated *Myrionecta rubra* were frequent. The abundance of diatoms indicated the good food sustainability in the Gulf, evidencing that the El Niño thermal conditions were relatively weak on the primary producers.

Keywords: Phytoplankton; Oceanography; Nutrients; Estuary, Mariculture; El Niño.

I. INTRODUCCIÓN

Las áreas costeras del Pacífico Sudeste son altamente vulnerables al potencial impacto del cambio climático, además de los efectos interanuales de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) que tiene influencia decisiva en la dinámica costera. El incremento de precipitaciones y escurrimientos causados por EL Niño, con crecientes insumos de nutrientes exógenos, lo que lleva a la eutrofización, con aumento de frecuencia y magnitudes de blooms de fitoplancton que alteran la cadena alimenticia (Paerl, 1997).

Los grupos funcionales del fitoplancton, como las diatomeas, dinoflagelados, ciliados, haptofitas, cianobacterias, entre otros grupos, pueden producir proliferaciones masivas, repentinas y espacialmente restringidas a una o unas pocas especies; fenómeno que se conoce como floración, bloom algal y/o marea roja, discoloraciones que generan eventos no toxígenos, mientras que otras especies pueden producir blooms toxigénicos denominadas floraciones algales nocivas (FAN) o en inglés HAB (Sunesen et al., 2009); pero a veces pueden tener efectos negativos en la salud humana y en el bienestar socio-económico, situación que puede ocurrir en zonas costeras y estuarios con alta concentración de nutrientes (Li et al. 2014).

Los estuarios tienen problemas ambientales relacionados con el crecimiento poblacional, económico, cambio climáticos y eventos naturales, que obtienen servicios ecosistémicos con inadecuadas políticas de manejo que han incrementado el deterioro a los recursos naturales, con impactos en zonas económicamente exclusivas (Ochoa et al., 2000, Feota y Bazzani, 2002).

El Golfo de Guayaquil, es una zona de múltiples usos (CAAM, 1996), donde nació la industria camaronera sin un ordenamiento cerca de 40 años e iniciando propuestas de monitoreo enfocados a mareas rojas (Jiménez, 1989 y 1996). Se desarrolla más del 70 % de la actividad pesquera y camaronera (Regueira, 2002), donde se ha registrado el mayor número de ocurrencias de mareas rojas y mortalidad de peces (Torres y Palacios, 2007; Torres 2012) y organismos que causan problemas al sector camaronero, serían indicadores de la degradación o estrés ambiental

(Prado et al., 2015).

El objetivo de esta investigación fue relacionar los grupos funcionales y especies más abundantes del fitoplancton con variables oceanográficas, a fin de entender los procesos locales en un sector productivo y de alto riesgo a la ocurrencia de mareas rojas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio, es en la estación fija ubicada sobre la plataforma submarina (profundidad aprox. 90 m), al noreste de la Isla Santa Clara en el Golfo de Guayaquil (Figura 1), donde se efectuaron monitoreos mensuales desde febrero 2013 a diciembre 2015, en la columna de agua a 7 niveles de profundidad (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 75m) en horas matutinas entre las 09:00 y 12:00, colectadas con botella Van Dorn de 2.5 L de capacidad, para determinar los diferentes parámetros expresados en el flujograma (Figura 2).

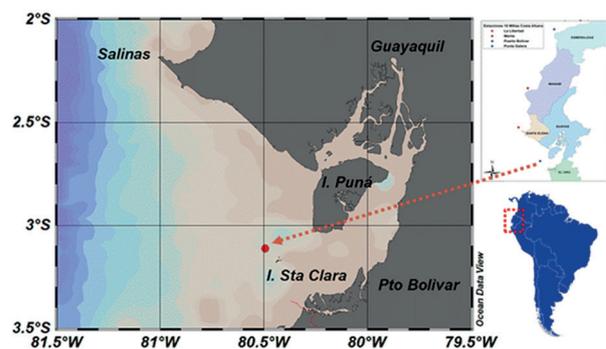


Figura 1. Posición de la Estación Fija frente a Puerto Bolívar, en el Golfo de Guayaquil.

Los análisis de las variables ambientales utilizadas en esta investigación, fueron realizados siguiendo normativas estandarizadas por las Divisiones de Química y Física de la Dirección de Oceanografía Naval del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). La caracterización de la temperatura y salinidad se obtuvieron con lances de un CTD-SBE19. Las muestras para oxígeno disuelto fueron fijadas in situ aplicando el método volumétrico (PEE/LAB-

DOQ/01). Las muestras de 300 ml para nutrientes (nitrato, fosfato, silicato, nitrito), fueron filtradas (milipore de 0.45 μ) y analizadas mediante las diferentes técnicas descritas en Strickland and Parsons(1972).

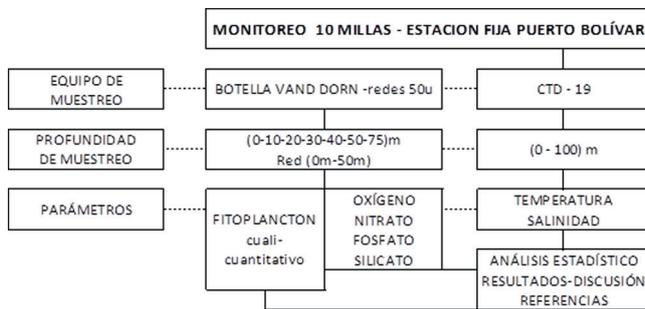


Figura 2. Flujograma del monitoreo en la Estación Fija frente a Puerto Bolívar.

Para la determinación del fitoplancton, se colectaron 238 muestras de agua en los niveles de profundidad mencionados, se agregaron 10 gotas de lugol y el análisis cuantitativo se realizó mediante el método de Uthermol (1958). La muestra fue homogeneizada y colocada en la cámara de sedimentación (25 ml) durante 24 horas, se procedió la taxonomía utilizando el microscopio invertido (400 X de magnificación); los datos fueron convertidos en células/l. Para la ubicación taxonómica, se realizó a nivel de especie y en algunos casos a nivel de género, se utilizaron los trabajos de Pesantes (1983), Jiménez (1983), Zambrano (1983), Balech (1988), Taylor et al. (1995) y Tomas (1997).

Para el análisis estadístico de las variables ambientales y del fitoplancton, fueron promediados mensualmente los tres años, se aplicó el error estándar para probar su dispersión o fluctuación del periodo de muestreo. Los datos fueron agrupados por épocas estacionales (húmeda y seca) a fin de probar la variabilidad de los parámetros ambientales aplicando el diagrama de cajas y bigotes (Box-Plot) con el test de Kruskal-Wallis como prueba de ajuste para la normalidad de los datos. Los datos también fueron

agrupados por profundidades: 1 (0-10m), 2 (20m) y 3 (30 a 75m), principalmente por la posición de la termoclina en la columna de agua (inicio, final, sobre y bajo la termoclina).

En la evaluación del análisis comunitario, se estimó el índice de diversidad de Shannon y Weaver (H'), con el propósito de cuantificar atributos comunitarios relevantes como diversidad y riqueza de especies (Krebs, 2002), como una medida relativa de diversidad biológica más ampliamente utilizada en ecología.

Se aplicó Análisis de Correspondencia Canónica (ter Braak, 1986) análisis de principales componentes (PCA) en las variables ambientales y biológicas: 1) grupos funcionales en que se incluyeron géneros con mayor número de especies, índices, dinoflagelados y el ciliado *Myrionecta rubra*; 2) principales especies más abundantes; acogiendo solo los meses donde el fitoplancton fue abundante, a fin de evaluar sus variables en los 3 años.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Distribución de la variabilidad Oceanográfica

Las variables oceanográficas como la temperatura aportaron evidencias de la variabilidad oceanográfica local, principalmente a nivel subsuperficial siendo variable a nivel superficial (Figura 3), con aguas más cálidas promediadas mensualmente en los tres años entre marzo a junio (0m) y entre abril, mayo y diciembre a nivel subsuperficial, siendo más evidente en el último trimestre del 2015 por la influencia del evento El Niño 2015-16. En relación a la variabilidad estacional de época húmeda y época seca de los tres años (diagrama de cajas en Figura 3), la temperatura presentó diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Durante el 2015 se registraron aguas más cálidas que el 2013 y 2014. El análisis de variabilidad térmica desde los promedios mínimos y máximos, evidenciaron que a mayor desviación estándar o amplitud del rango se incrementaron con la profundidad, principalmente en la época húmeda

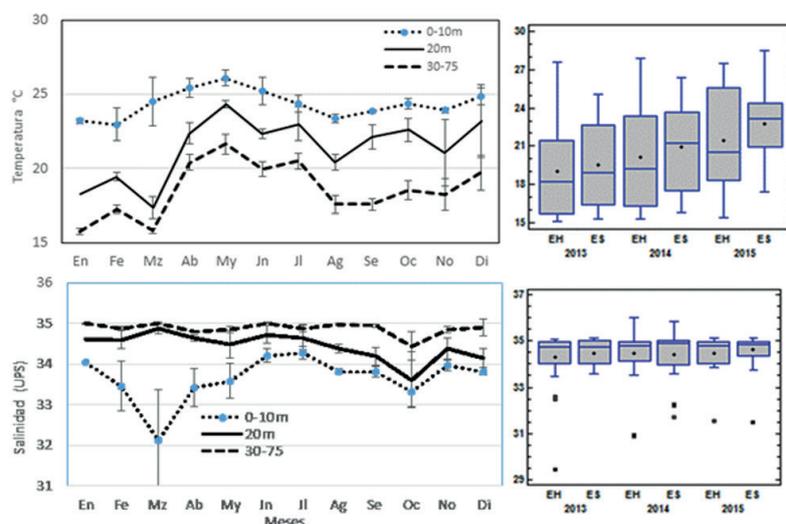


Figura 3. Variabilidad de promedios y error estándar mensual de temperatura y salinidad en tres niveles de profundidad; y cambios en la densidad media en ambas épocas estacionales (EH= época húmeda; ES=época seca) durante el 2013 al 2015 en el Golfo de Guayaquil.

en los tres años. En los promedios mensuales de la TSM (1900-2014) frente a las costas del Ecuador (Breaker et al. (2016), mencionó un promedio de TSM de 23.38°C en el Golfo de Guayaquil externo. Sin embargo este promedio fue superado durante el periodo de esta investigación (24.6 °C, 25.3 °C y 26.48°C respectivamente para cada año, debido a la formación del evento El Niño. Morón et al. (2015) y Quispe-Calluaril (2016), mencionan que TSM registradas al norte del Perú desde enero a agosto 2013 registraron un periodo frío; desde mayo a julio 2014 se registró un periodo de condiciones cálidas por el desarrollo de condiciones El Niño en los periodos noviembre 2014 a enero 2015, no llegaron a cumplir el evento El Niño en las costas de Perú, lo cual se relaciona con lo registrado en Ecuador durante estos años.

La salinidad fue uno de los parámetros más estables en la columna de agua, con ligera disminución solo en meses de época húmeda (febrero y marzo) a nivel superficial (Figura 3), por el aporte de los tributarios que desembocan en el golfo. El promedio mensual de salinidad durante los tres

años, fue más variable a nivel superficial (0 a 20m), siendo más homogénea a mayor profundidad (35-75m). En relación a la variabilidad estacional de época húmeda y época seca de los tres años (diagrama de cajas en Figura 3), la salinidad no presentó diferencias estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. Durante el 2015 se registraron aguas más salinas que el 2013 y 2014.

Acogiendo la clasificación del tipo de masa de agua para temperatura y salinidad Okuda et al., 1983 citado en Valencia y Moran 1996, con datos del periodo de investigación se evidenciaron dos masas de aguas (Figura 4): Aguas Tropicales Superficiales (ATS) distribuidas en mayor porcentaje a nivel superficial; y Aguas Ecuatoriales subsuperficiales (AESS), distribuidas principalmente en la capa subsuperficial en ambas épocas estacionales del 2013 y finales del 2014 e inicios del 2015 desapareciendo en el último semestre del 2015 por el calentamiento de El Niño.

La distribución y concentración de oxígeno disuelto, evidenciaron dos particularidades en los 3 años: **1)** capa

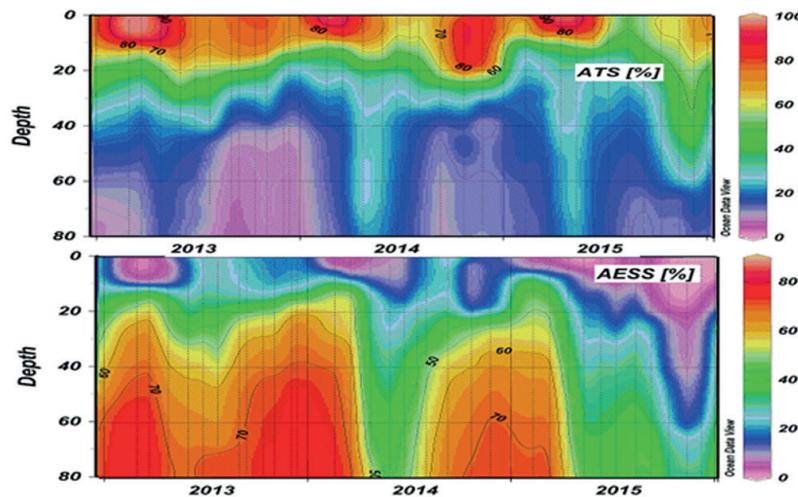


Figura 4. Principales masas de aguas obtenidas en el Golfo de Guayaquil, durante 2013 al 2015.

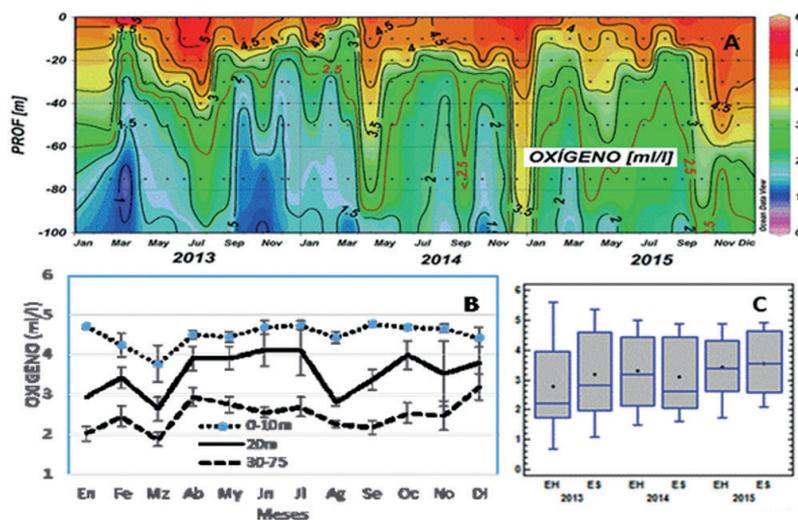


Figura 5. Variabilidad de promedios y error estándar mensual del oxígeno en tres niveles de profundidad; y su dispersión por épocas estacionales (EH= época húmeda; ES=época seca) durante el 2013 al 2015.

superficial con alta concentración; 2) capa subsuperficial bajo la termoclina de menor oxígeno (Figura 5-A). La isolínea de 2.5 ml/l, se profundizó en enero, febrero, julio (2013), abril-mayo, septiembre, diciembre (2014), enero, abril-mayo, octubre a diciembre (2015). En relación a la variabilidad de los promedios mensuales del oxígeno (Figura 5-B), a nivel superficial (0-10m) fue más homogénea que en los otros dos niveles subsuperficiales; en ambas épocas estacionales el rango fue ligeramente variable en todo el año (3.77 a 4.88 ml/l). En relación a la variabilidad estacional de época húmeda y época seca de los tres años, el oxígeno presentó diferencias estadísticamente significativas entre las medianas (Figura 5-C).

El valor mínimo de oxígeno (<2 ml/l) fue observado fue durante marzo, agosto a octubre (2013), agosto y octubre (2014) y marzo (2015) en la capa inferior de los 50m de profundidad. Esta capa de menor oxígeno puede estar relacionada con el sistema norte de la Corriente de Humboldt, que se caracteriza por una intensa y somera zona de Mínimo de Oxígeno (Bertrand, 2012). Roegner et al. (2011), mencionan que el oxígeno es un trazador no conservador y su concentración, es afectada por muchos factores ambientales y biológicos; consiguiendo categorizar concentraciones determinadas que puedan causar estrés biológico en la maricultura del salmón: 1) hipóxico o severo estrés biológico (0 a 2 mg/l); 2) moderado estrés biológico (2 a 4 mg/l); 3) leve estrés biológico (4 a 6 mg/l); 4) normoxic (6 a 9 mg/l); y 5) super-saturado (9 o 10 mg/l). Las categorías 1 a 3 se consideran como condiciones bajas de oxígeno. En los resultados de esta investigación, la mayor parte de datos estarían categorizados en el nivel 3 y otros en el nivel 2. Sin embargo, en el Golfo de Guayaquil se han registrado algunos eventos de mortalidad de peces desde 1982 al 2009 (Torres, 2012). La concentración del oxígeno disuelto es un parámetro clave en la distribución y abundancia de los organismos marinos (FAO, 2016).

Los nutrientes disueltos inorgánicos presentaron variación mensual y estacional significativa. El nitrato fue el nutriente con mayor aporte significativo y con mayor variabilidad mensual y estacional que el fosfato y silicato (Figura 6); con incrementos en ambas épocas (húmeda y seca), principalmente en abril, julio a octubre y diciembre (2013), enero, marzo a abril, agosto, noviembre (2014), enero a marzo, junio, octubre (2015). El nitrato registró mayor aporte significativo en la época húmeda (diciembre, enero, marzo y abril), mientras que en la época seca fue muy variable en los tres años. La mayor concentración de fosfato fue en febrero, marzo, mayo, julio (2013), febrero, julio (2014), febrero, marzo, julio a septiembre (2015). La mayor concentración de silicato se registraron en abril, septiembre a diciembre (2013), enero a marzo, mayo a junio, agosto a diciembre (2014), enero a abril, julio a agosto (2015).

Al observar la distribución de las épocas estacional de las medianas (cajas y bigotes en Figura 6), el fosfato y silicato fue inversamente proporcional con el incremento de la temperatura; el nitrato presentó una distribución opuesta, es decir en aguas cálidas presentó mayor dispersión de los datos con relación a la mediana, lo cual sustenta la mayor producción del fitoplancton aún en aguas cálidas de El Niño.

Estructura y distribución del fitoplancton

En el estudio taxonómico del fitoplancton en el Golfo de Guayaquil, se identificaron 166 especies durante los 3 años en un total de 238 muestras en 7 niveles de profundidad; su número total fue dependiente de la profundidad y al año de estudio, incrementándose ligeramente en el 2015. A nivel subsuperficial, el número de especies fue disminuyendo con la profundidad pero registró ligera diferenciación en los 3 años. En relación a las especies más abundantes en la columna de agua acogiéndose las clases de la Tabla 2, se registraron 31 especies, incluidas en 25 géneros y 20 familias, correspondiendo en su mayoría a las diatomeas

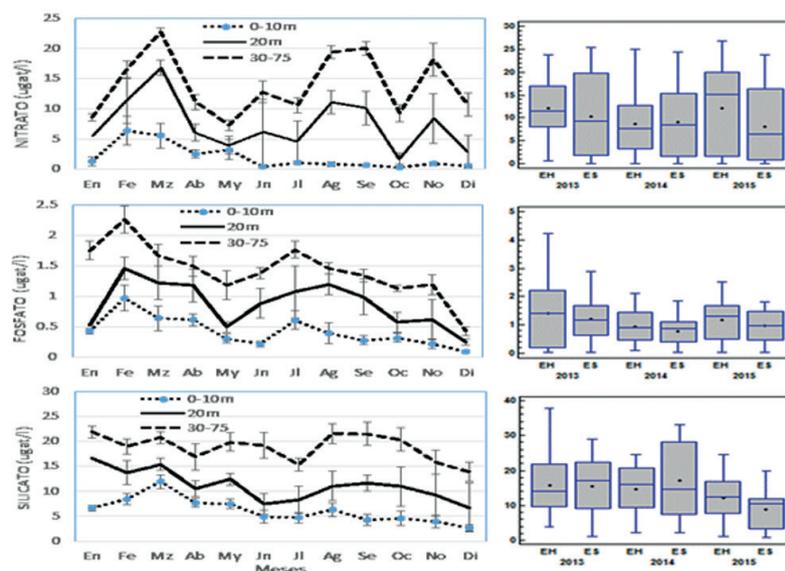


Figura 6. Distribución de promedios mensuales con su error estándar para nitrato, fosfato y silicato en tres niveles de profundidad; y su dispersión en ambas épocas estacionales (EH= época húmeda; ES=época seca) durante el 2013 al 2015.

céntricas, escasas diatomeas pennadas y dinoflagelados.

La mayor abundancia fue registrada en la capa superficial de 0 a 20 m, coincidente en gran parte con la ubicación de la termoclina en la columna de agua (10 y 20 m profundidad), con excepción de julio (2013), noviembre y diciembre (2014) cuando se profundizó a 30m, 50m y 40m respectivamente.

El índice de diversidad fue fluctuante con mínimos y máximos mensuales en los tres niveles de profundidad, por consiguiente no evidenció una marcada estacionalidad en los tres años. Sin embargo, en la distribución temporal y en el diagrama de cajas evidenció un menor índice en el 2013 en ambas épocas húmeda y seca; en el 2014 y 2015

el índice se incrementó principalmente en la época seca (Figura 7).

Guinardia striata registró el principal incremento algal (1837.836 cel/l en 0m; 1319.472 (10m) y 1130.976 cel/l a 20m) junio **2013**; fue relacionado con temperaturas ligeramente frías (21.85-22.43°C), alta salinidad (34.22-34.29 UPS), con oxígeno disuelto (4.9-5.34 ml/l), casi agotamiento de nitrato, fosfato y silicato. En el **2014** se registraron altas densidades en enero por *Thalassiosira sp* (5937.624 cel/l) a 20m, en mayo representada por *S. costatum* (1764.794) en 0m; *Nitzschia longissima* (442.966 cel/l) en 10m, *S. costatum* (619.681 cel/l); en condiciones térmicas entre 23.09-26.33 °C; salinidad entre 33.99 y 34.87 UPS; oxígeno entre 2.97 a 4.59; escasos nitratos y fosfatos,

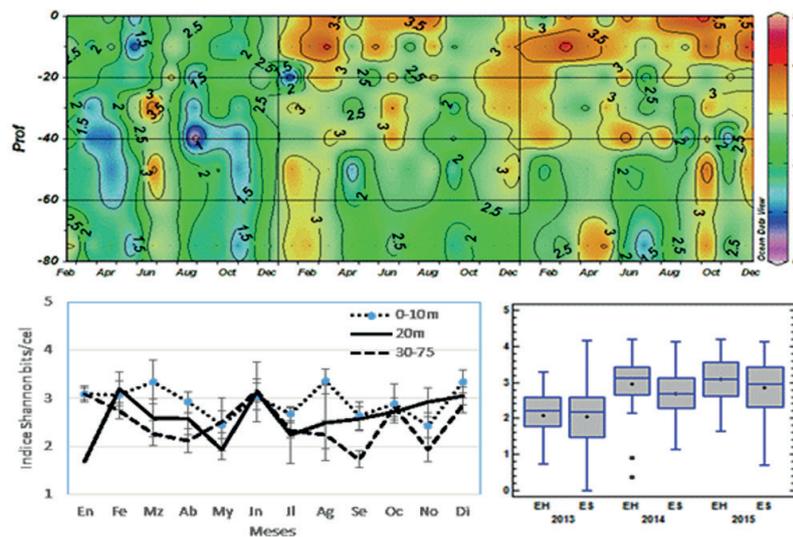


Figura N°7. Variabilidad de promedios y error estándar mensual de índice de Shannon en tres niveles de profundidad; y su dispersión en ambas épocas estacionales (EH= época húmeda; ES=época seca) durante el 2013 al 2015.

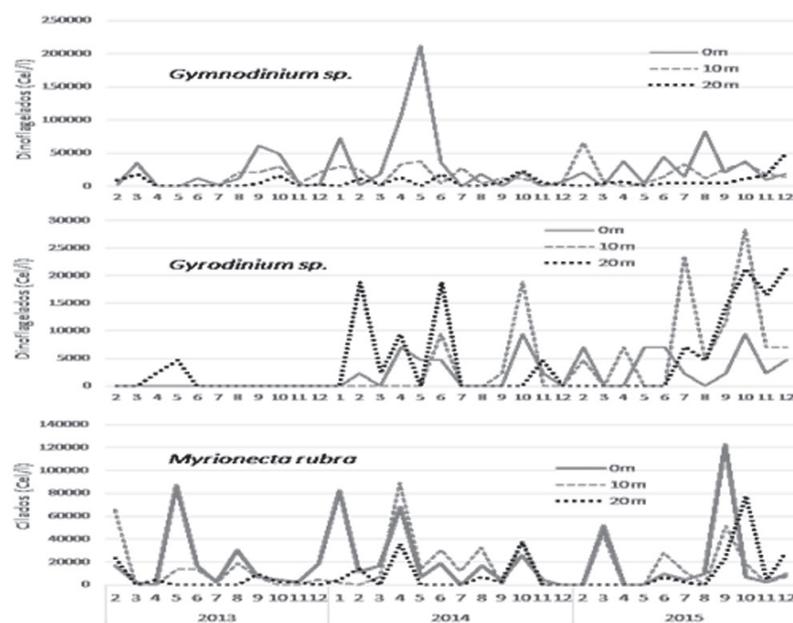


Figura N°7a. Distribución mensual de la abundancia *Gymnodinium sp.*, *Gyrodinium sp.*, y *M. rubra* en tres niveles de profundidad, durante el 2013 al 2015.

e incremento en silicatos (4.71 a 20.88 ug.at/l). En el **2015** se registraron cuatro altas densidades; en febrero con abundancia de algunas especies en superficie (*Proboscia alata*, *Rhizosolenia imbricata*) y en 10m (*G. striata* y *S. costatum*); el otro incremento algal fue en abril causada por la dominancia de algunas diatomeas (*C. curvisetus*, *C. didymus*, *S. costatum*); mayo con abundancia superficial (*S. costatum* y *Dytilum brightwellii*) y a 10m (*S. costatum*); estas altas densidades a nivel superficial se evidenciaron con temperaturas más cálidas (25.67 a 28.52°C), oxígeno casi constante (4.38 a 4,88 ml/l), nitratos (0.06 a 0.43 ug.at/l) y fosfatos (0.14 a 0.77 ug.at/l) casi agotados, mientras que el silicato (4.61 a 8.52 ug.at/l), correspondiendo al tipo de aguas ATS con excepción al mes de abril en que el tipo de agua registró 34.56 UPS y 27°C. Otras especies registraron abundancias específicas como *Thalassiosira sp.* a 20m en enero 2014; *Chaetoceros curvisetus* y *C. didymus* a 0m en abril 2015; *C. affinis* en febrero y marzo 2014; *H. sinensis*

a 0-10-20m en junio 2013; *L. danicus* a 0m en mayo (2014) y abril-mayo (2015); *R. imbricata* y *R. calcar avis* en junio 2014; *P. alata* en enero 2015; *D. fragilissimus* en junio 2013 y 2014; *D. antarcticus* en junio-julio 2013 y mayo – julio 2014. Estos incrementos se observan en las clases más altas de las especies registradas en la Tabla 3.

La persistencia de altas densidades de especies seleccionadas del fitoplancton, también han sido consideradas como una medición de perturbaciones en la comunidad del fitoplancton y su relación con la disminución en la salud del ecosistema; están siendo consistentes con las definiciones de normativas que describen su frecuencia e intensidad de la ocurrencia de blooms fitoplanctónicos, los cuales se correlacionan con el tipo de condiciones físico-químicas específicas (Devlin et al., 2009). Eventos de floración de diatomeas, han sido relacionadas con la mortalidad de peces en junio y julio 2006 en La Paz-

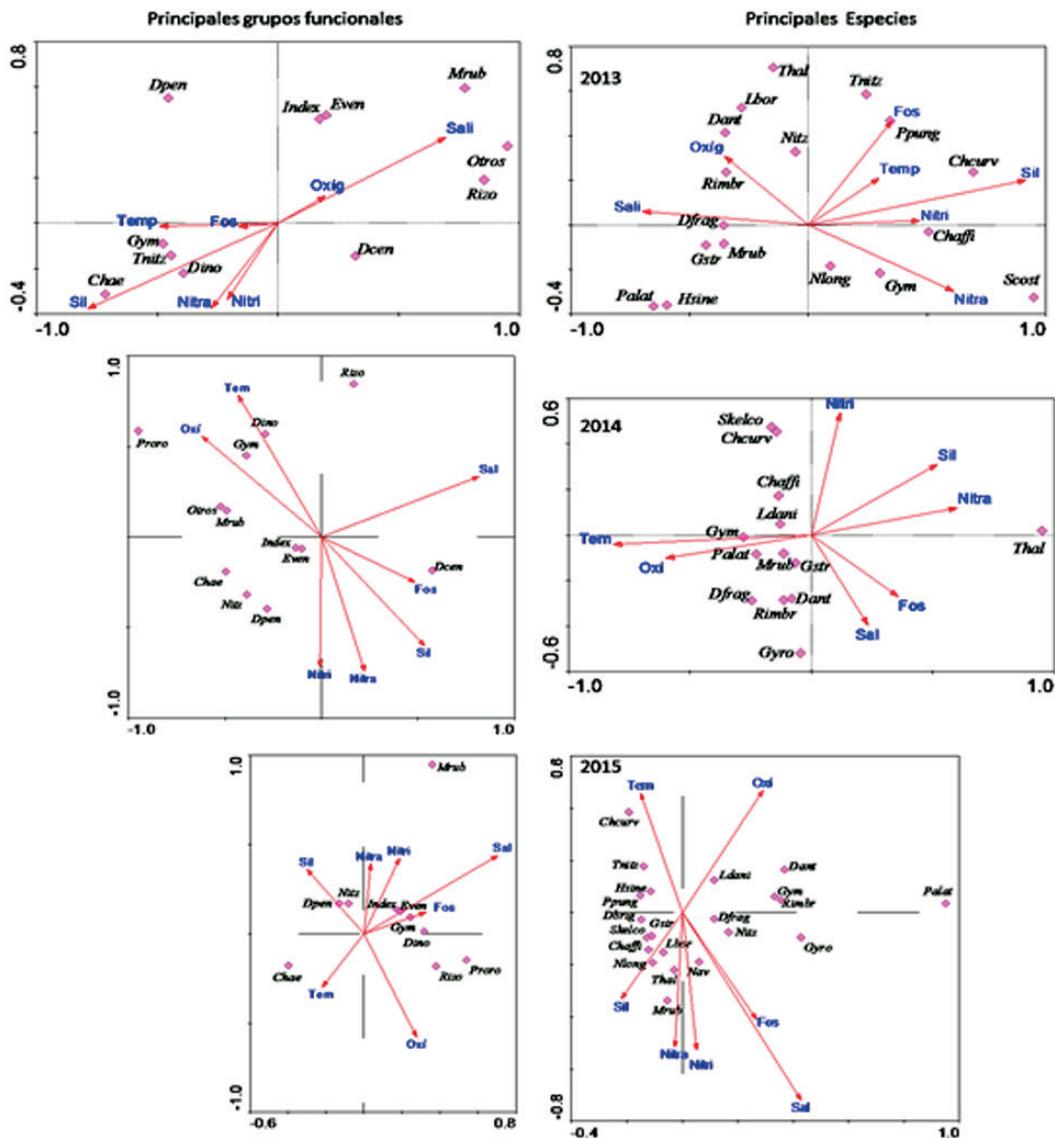


Figura 8. Biplot del ACC relacionando los principales grupos funcionales - especies con las variables físico-químico, durante el 2013, 2014 y 2015.

California, por la lesión de las branquias causadas por *Thalassiosira excéntrica* y *Chaetoceros sp.* dañando los tejidos de las branquias; la abundancia de algunas especies del género *Pseudo-nitzschia* producen niveles bajos de ácido domoico (López-Cortéz et al., 2015). Se han registrado valores de biomasa con alta densidad celular en el grupo de diatomeas como *S. costatum*, algunas especies de *Chaetoceros* y *Nitzschia*, que han causado mortalidad de peces en sectores de la Maricultura en otros países (Canadá y Chile).

La presencia de especies que han generado mareas rojas, entre ellas el ciliado *M. rubra* y los dinoflagelados (*Gymnodinium sp.* y *Gyrodinium sp.*) registraron ligeros incrementos principalmente en la época húmeda del 2014 y en casi todo el año 2015 (Figura 7a), pero no llegaron a formar un bloom algal durante el muestreo. Los incrementos de *Gymnodinium sp.* coincidieron con temperatura (entre 22.5 a 23.63°C); salinidad (33.62-33.89 UPS); oxígeno disuelto (4.24-4.81 ml/l); nitrato y fosfatos con mínimas densidades, siendo el silicato más representativo (3.76-11.31 ug.at/l) durante el 2013; la temperatura se incrementó en el 2014 (23.0 a 26.5°C) y 2015 (24.2 a 27.57°C), salinidad (32.23 a 34.5 UPS: 2014; 31.53 a 34.90 UPS: 2015), con promedio de oxígeno (4.48 ml/l), nitrato (1.65 ug.at/l), fosfato (0.41 ug.at/l) y silicato (5.99 ug.at/l) en el 2014; con similares condiciones para el 2015 con promedio de oxígeno (4.56 ml/l), nitrato (2.11 ug.at/l), fosfato (0.55 ug.at/l) y silicato (4.88 ug.at/l). *Gyrodinium sp.* evidenció incrementos en el primer semestre del 2014, mientras que en el 2015 su abundancia fue en el segundo semestre a nivel subsuperficial. El ciliado *M. rubra* se incrementó en el primer semestre del 2013 y 2014, mientras que en el 2015 fue más abundante en el segundo semestre; en condiciones térmicas (23,4 a 26.5°C), oxígeno (3.82 a 4.92); nitrato y fosfato fueron casi agotados en enero, abril y septiembre, mientras que en mayo y marzo registro 9.48 y 7.8 ug.at/l respectivamente; silicato (2.9 a 11.46 ug.at/l). Torres (2012), ha reportado que *M. rubra* fue la especie que ha causado más eventos de mareas rojas en la costa ecuatoriana.

En los resultados del Análisis Correspondencia Canónica fueron realizados para identificar la relación de los principales grupos funcionales (diatomeas céntricas, diatomeas pennadas, dinoflagelados y otros) en que se incluyeron géneros que registraron mayor número de especies (*Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia-Pseudonitzschia*), índice de diversidad-riqueza (Even) dinoflagelados (*Prorocentrum*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*) y el ciliado *M.rubra* con las variables ambientales; y la abundancia de principales especies con las variables ambientales para cada año, evidenciándose asociaciones estadísticamente significativas (valor $P < 0.05$). En la relación con las variables ambientales, los dos primeros ejes han explicado para grupos funcionales (73.3%) y especies (79,9) para el 2013; 72.9 y 74.3% en el 2014; 77.7 y 64.2% en el 2015 respectivamente; los cuales se han correlacionado con el nitrato, silicato, fosfato, temperatura y nitrito del 1 eje (especies) por el aporte del estuario; en 2 eje por la salinidad y oxígeno relacionado a aguas de la corriente costera de Humboldt (2013); 1 eje con nitrito, silicato nitrato, silicato y fosfato; en el 2 eje por salinidad y oxígeno en el 2014; 1 eje con salinidad, nitrato, fosfato y oxígeno; en el 2 eje por temperatura,

nitrato y silicato en el 2015 (Figura 8). Otras especies de dinoflagelados fueron registradas como escasas fueron *D. caudata*, *C. furca*, *Gonyaulax sp.*, *Oxitoxum sp.* *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum sp.*

IV. CONCLUSIONES

Esta investigación es un primer aporte de monitoreo mensual por tres años en un sector productivo, en el principal estuario del Pacífico sudeste, las especies del fitoplancton cuantitativo y las variables ambientales evidenciaron un óptimo nivel de conservación del ecosistema marino costero del estuario tropical, con excepción de algunas especies que pueden generar mareas rojas.

Los resultados evidenciaron variabilidad mensual y en épocas estacionales en los 3 años de estudio, tanto en las variables ambientales y del fitoplancton. A nivel superficial las variables presentaron menor variabilidad, a nivel subsuperficial registraron mayor variabilidad. Al evaluar la distribución de los nutrientes, el fosfato y silicato fue inversamente proporcional con el incremento de la temperatura; el nitrato presentó una distribución opuesta, lo cual sustentó la mayor producción del fitoplancton aún en aguas cálidas de El Niño 2015-2016.

El fitoplancton de 166 especies durante los 3 años en la columna de agua, tanto en número de especies como en su abundancia correspondió a las diatomeas céntricas, en menor densidad a las diatomeas pennadas y escasos dinoflagelados. Se evidenciaron 31 especies con rangos de abundancia más representativos; algunas especies presentaron un solo máximo en los tres años (*Thalassiosira sp.* en enero 2014 (20m); *C. curvisetus* en abril 2015 (0m); *R. imbricata* en junio 2014; *P. alata* en febrero 2015; *R. calacar-avis* en junio 2014, *H. sinensis* en junio 2013), otras especies registraron entre 2 a 3 máximos (*S. costatum*, *N. longissima*, *C. affinis*, *L. danicus*, *G. striata*, *D. antarcticus*, *D. fragilissimus*), otras fueron frecuentes. La relación de las variables ambientales con los principales grupos funcionales y especies (ACP), explicaron en los dos primeros ejes entre el 72.9 a 77.7 % para grupos funcionales y entre 64.2 a 79.9 % para las especies. Los registros de *Nitzschias* y *Pseudonitzschia* están asociadas a biotoxinas marinas como es el ácido domoico, constituyen evidencias desconocidas y escasamente estudiadas.

Las series de tiempo en monitoreos de la comunidad del fitoplancton ayudan a entender las variaciones mensuales e interanuales, contribuyen a detectar síntomas de eutrofización por enriquecimiento de nutrientes, sino también porque abarcan una amplia gama de la diversidad taxonómica y funcional que está estrechamente vinculada a la salud del ecosistema; es de gran interés en el contexto de cambio climático y sus efectos en los recursos pesqueros en estuarios tropicales.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los directivos del Instituto Oceanográfico y al Senescyt, por el financiamiento del Proyecto "Sistema de Alerta Temprana" principalmente por los datos de este artículo. A la unidad de Postgrado de la Universidad San Marcos por la publicación de este

artículo en su revista RIGEO. A los organizadores de World Aquaculture Society Meetings-LACQUA - 2016-Lima-Perú por aceptar la conferencia de este artículo en calidad de estudiante de Postgrado de la Universidad San Marcos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balech, E., 1988. Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Instituto Español de Oceanografía, 1: 1-300.
- Bertrand A., 2012. Impacto del aumento de la zona de mínimo de oxígeno sobre el funcionamiento del ecosistema pelágico. Memorias del III Congreso de Ciencias del Mar del Perú. Universidad Científica del Sur. Lima.
- Breaker L., Loor H. and Carrol D. 2016. Trends in sea surface temperatura off the coast of Ecuador and major processes that contribute to them. *Journal of Marine Systems*, 164: 151-164.
- CAAM, 1996. Sistemas Biofísicos del Golfo de Guayaquil. Comisión asesora Ambiental de la Presidencia de la República.
- Caron D. 2016. Mixotrophy stirs up our understanding of marine food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (11): 2806-2808.
- Devlin M., Barry J., Painting S., and M. Best. 2009. Extending the phytoplankton tool kit for the UK Framework Directive: indicators of phytoplankton community structure. *Hidrobiologia* 633 (4): 151-168.
- Feota G., y R. Bazzani, 2002. Desafíos y estrategias para la implementación de un enfoque ecosistémico para la Salud Humana en los países en desarrollo: Reflexiones a propósito de las consultas regionales.
- FAO 2016. Climate Change implications for Fisheries and Aquaculture. Summary of the findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report.
- Gárate-Lizárraga, I., Verdugo-Díaz, G. y Y. Okolodkov. 2016. Florecimientos algales nocivos en la costa occidental de California Sur. García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. (eds.). *Florecimientos Algales Nocivos en México*. Ensenada, México. CICESE. 438 pp.
- Jiménez R., 1983. Diatomeas y Silicoflagelados del Fitoplancton del Golfo de Guayaquil. *Acta oceanográfica del Pacífico, Ecuador*, 2(2): 193-281.
- Jiménez R. 1989. Red Tide and Shrimp Activity in Ecuador. Establishing a Sustainable Shrimp Mariculture Industry in Ecuador. Ed. S. Olsen and L. Arriaga. pp 185-194.
- Jiménez R., 1996. Sistemas biofísicos en el Golfo de Guayaquil. Segunda Parte: Biología, Ecología y Acuicultura. Comisión Asesora Ambiental de la Presidencia de la República (CAAM).
- Krebs, C. 2002. *Ecological Methodology*. 2nd Ed. Benjamin-Cummings.
- Li H., Tang H., Shi X., Zhang C., & Wang X. 2014. Increased nutrient loads from the Changjiang (Yangtze) River have led to increased Harmful algal blooms. *Harmful Algae*, 39: 92-101.
- López-Cortés D., Núñez-Vázquez E., Band-Schmidt, C., Gárate-Lizárraga, I., Hernández-Sandoval, F., & J. Bustillos-Guzmán. (2015). Mass fish die-off during a diatom bloom in the Bahía de La Paz, Gulf of California. *Hidrobiológica*, 25(1), 39-48.
- Morón O., Gutiérrez D., Anculle T. y J. Ledesma. 2015. Variabilidad de las condiciones oceanográficas en el Punto Fijo Paita (05°04'25"S-81°16'W), abril 2014-octubre 2015. *Bol. Trimestral Oceanográfico*, 2 (1-4): 9-11.
- Ochoa E., Olsen S., y L. Arriaga, 2000. Macrozonificación de la zona costera Continental: Propuesta para el ordenamiento y desarrollo de la costa ecuatoriana. Programa de Manejo de Recursos Costeros.
- Okuda T., Valencia M., y R. Trejos-Suescum, 1983. Nutrientes en las aguas superficiales y subsuperficiales en el área frente a Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 2(1): 31-51.
- Paerl H., 1997. Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as "new" nitrogen and other nutrient sources. *Limnol. Oceanogr.* 42 (5 part 2): 1154-1165.
- Pesantes, F. 1983. Los Dinoflagelados como indicadores de El Niño en el mar ecuatoriano. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. Vol. 2(1): 86-117.
- Prado M., Troccoli L. y E. Moncayo. 2015. Cambios estructurales del microfitoplancton en la zona costera de la Provincia de EL Oro-Ecuador en temporada seca. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 54 (2): 139-152.
- Quispe-Calluaril C., Tam J., Demarcq H., Romero C., Espinoza D., Chamorro A., Ramos J. y R. Oliveros. 2016. El Índice Térmico Costero Peruano (ITCP). *Bol. Trimestral Oceanográfico*, 2 (1): 7-11.
- Regueira E., J. Calderón y B. Bayot. 2002. Spatial and Temporal Patterns of Shrimp Production in de Gulf of Guayaquil. *Investigaciones Marinas*, 30 (1): 197-198.
- Roegner G., Needoba J. y António Baptista. 2011. Coastal Upwelling Supplies Oxygen-Depleted Water to the Columbia River Estuary. *PLoS ONE* 6(4): e18672. doi:10.1371/journal.pone.0018672
- Strickland J.D. and T.R. Parsons. 1972 *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Second Edition. Ottawa (Canada): Fisheries Research Board of Canada.
- Sunesen I., Bárcena A., y E. Sar. 2009. Diatomeas potencialmente nocivas del Golfo San Matías (Argentina). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44 (1): 67-88.
- Taylor, F. J. R. (1976). *Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. A report on material collected by the R.V. "Anton Bruun" 1963-1964*. *Bibliotheca Botanica*, 132, 1-234, pl. 1-46.
- ter Braak C. 1986. Canonical Correspondence Analysis: A new eigenvector technique for Multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- Tomas C., 1997. *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press Int. San Diego, USA. 858 pp.

30. Torres G. y C. Palacios, 2007. Bloom de *Noctiluca scintillans* y *Ceratium dens* en el Golfo de Guayaquil (2004). Acta Oceanográfica del Pacífico, 14 (1): 125-130.
31. Torres. G., 2012. Eventos de Mareas Rojas: Estrategias de Gestión para el Manejo Integrado y Preventivo en Ecuador. Tesis de Magister en Ciencias en Manejo Sustentable de Recursos Bioacuáticos y Medio Ambiente. Universidad de Guayaquil.
32. Tobey J., Clay J., y P. Vergne. 1998. Impactos Económicos, Ambientales y Sociales del Cultivo de Camarón en Latinoamérica: Manteniendo un Balance. Proyecto de Manejo de Recursos Costeros II. Una Cooperación del USAID/G/ENV y el Centro de Recursos Costeros, Universidad de Rhode Island
33. Twilley R., Cárdenas W., Rivera-Monroy V., Espinoza J. Suescum R., Montaña M. and L. Solórzano. 1999. Ecology of the Gulf of Guayaquil and the Guayas River Estuary. Informe no publicado.
34. Utermohl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der Quantitativen phytoplankton methodik Mitt Inter. Ver. Limnol, 9:1-38.
35. Valencia M. y A de Morán, 1996. Características químicas de las masas de aguas costeras ecuatorianas en dos estaciones fijas: Península de Santa Elena y Puerto de Manta-Ecuador 1990-1995. Acta Oceanográfica del Pacífico, 8(1): 29-38.
36. Zambrano, I. 1983. Tintinnidos del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol 2(2): 444-507.