# ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA OCEÁNICA EN LA ÉPOCA LLUVIOSA DE LA COSTA ECUATORIANA

Howard F. Seidel [1]
Isabel García-Arévalo [2]
Mariela González-Narváez [2]
Carlos Perugachi-Salamea [2]

## *RESUMEN*

*El océano juega un papel importante en el transporte de energía en todo el planeta, el Ecuador recibe esa influencia especialmente en el régimen de precipitaciones del litoral, y es el que define la época seca y lluviosa. En el presente estudio se utilizaron los parámetros oceánicos temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico hasta 300 metros, datos asimilados provenientes de Simple Ocean Data Assimilation SODA 2.2.8, para determinar la influencia de los mismos en las precipitaciones presentes en las estaciones del perfil costero ecuatoriano. Los datos de precipitación fueron tomados de las estaciones de La Libertad, Manta, Esmeraldas y Puerto Bolívar. Se realizaron diagramas Hövmoller para evidenciar la evolución de las anomalías de los parámetros estudiados, seguido de un análisis de funciones ortogonales empíricas en el Pacífico ecuatorial con las que se identificaron modos o estructuras climáticas, entre los que se obtuvo una concordancia entre la ocurrencia de eventos ENOS en las variables en la primera componente temporal y en la segunda componente la identificación de los eventos del tipo del Pacífico Este. Por último se realizaron correlaciones cruzadas entre las primeras componentes temporales y la precipitación de las estaciones costeras INOCAR, identificando un mes de retardo de precipitación de las estaciones del Norte con respecto a la primera componente temporal de las variables estudiadas y un retardo nulo con las estaciones del Sur.*

***Palabras Claves:*** *ENOS, temperatura superficial del mar, precipitación, contenido calórico, EOF*

## *ABSTRACT*

*The ocean plays an important role in the transport of energy throughout the planet, especially Ecuador receives that influence in rainfall in the coast, and is what defines the dry and rainy season. In the present study oceanic parameters sea surface temperature, sea level, depth of the isotherm of 20 ° C and heat content up to 300 meters, assimilated data from Simple Ocean Data Assimilation SODA 2.2.8 to determine the influence thereof in rainfall stations present in the Ecuadorian coastal profile. Precipitation data were taken from the stations of La Libertad, Manta, Esmeraldas and Puerto Bolívar. Diagrams Hövmoller were performed to demonstrate the evolution of anomalies of the parameters studied, followed by an analysis of empirical orthogonal functions in the equatorial Pacific with which modes or climatic structures, including an agreement between the occurrence of events was obtained were identified ENSO in temporary variables in the first component and the second component identifying the type of events Eastern Pacific. Finally the first cross-temporal components and precipitation of Coast of Stations INOCAR, identifying a month of delay precipitation stations North with respect to the first temporal component of the variables and zero delay with correlations were performed stations from the South.*

***Keywords:*** *ENSO, Sea surface temperature,precipitation, heat content, EOF*

[1]Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador
[1]Proyecto índices ENOS. Instituto Oceanográfico de la INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

## INTRODUCCIÓN

La influencia oceánica sobre el clima en las costas ecuatorianas es más evidente durante los eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOS), debido a que es el determinante más importante de la variación en el campo de precipitación global (Dai et al 1997; Dai&wigley 2000). La importancia de la presente investigación radica en que para poder entender el clima globalmente se debe tener en cuenta el rol del océano en el establecimiento y mantenimiento del balance de calor global (Willis et al., 2004).

En el Pacífico Ecuatorial las oscilaciones de baja frecuencia juegan un papel crítico en el movimiento de la marea, en el ajuste del océano tropical al forzamiento del estrés del viento, y generando y manteniendo El Niño Oscilación del Sur (Wang, 2002). Las ondas Kelvin son las responsables de este transporte desde el Pacífico occidental hacia el oriental y a las mismas se le atribuye el origen de las condiciones anómalas propias de El Niño (Zambrano et al., 1986).Durante los eventos ENOS fuertes pasados la propagación de la onda ha generado incremento del nivel del mar e intensas anomalías de temperatura superficial del aire y del mar (Zambrano, 1986). Así como también se ha caracterizado por calentamiento subsuperficial, el mismo que produce niveles anómalos de profundización de las isotermas (Zambrano et al, 2000).

El contenido calórico global ha aumentado entre 1956-2003, incremento que domina el balance del calor en los últimos 50 años (Levitus et al., 2005). Este es un componente de la habilidad de almacenar y transportar calor del océano (Willis et al., 2004), por tanto el estudio de su variabilidad es vital para entender el rol del océano.

La retroalimentación de la respuesta de la termoclina y estrés de viento a las anomalías de temperatura superficial del mar son procesos claves que afectan la dinámica de ENOS (McPhaden, 2003).Concentrándonos en estos procesos claves, se escogieron las variables oceanográficas temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico hasta 300 metros; para poder relacionarlas con la ocurrencia de eventos ENOS y con la precipitación en el litoral ecuatoriano.

Las variables estudiadas aportan información a nivel superficial y subsuperficial (en la columna de agua). La información oceánica subsuperficial contribuye potenciando la capacidad predictiva, pudiendo determinar el curso de un evento ENOS (McPhaden, 2003) debido a que las señales de calentamiento o enfriamiento del trópico están ampliamente confinadas sobre unos cuantos cientos de metros en la columna de agua (Willis et al., 2004).

Mediante el presente trabajo se pretende analizar la influencia oceánica a lo largo de la costa ecuatoriana, identificando las relaciones existentes entre los distintos parámetros oceánicos y la precipitación en el litoral ecuatoriano con el uso del análisis de funciones ortogonales empíricas para poder estudiar los posibles patrones espaciales de las variables de estudio y cómo estas cambian en el tiempo.

## DATOS Y MÉTODOS

Para este análisis la data usada fue tomada del re-análisis del océano Simple Ocean Data Assimilation SODA, versión 2.2.8. La data de precipitación utilizada para los análisis que se presentarán posteriormente proviene de las estaciones fijas del Instituto Oceanográfico de la Armada, las mismas que se detallan en la Tabla 1 con sus ubicaciones geográficas:

**Tabla 1** Ubicaciones geográficas de las estaciones costeras de monitoreo INOCAR

| Estaciones Costeras | | | |
|---|---|---|---|
| **Lugar** | **Provincia** | **Latitud** | **Longitud** |
| Manta | Manabí | 00$^0$56´06" S | 80$^0$43´222W |
| Esmeraldas | Esmeraldas | 00$^0$59´00" N | 79$^0$39´00W |
| La Libertad | Guayas | 02$^0$12´58"S | 80$^0$43´22"W |
| Puerto Bolívar | El Oro | 03$^0$16´0"S | 80$^0$00 ´00"W |

Los parámetros oceanográficos utilizados son detallados en la Tabla 2 con sus respectivas nomenclaturas y unidades de medición:

**Tabla 2** Parámetros, nomenclaturas y unidades de medición

| **Variable** | **Descripción** | **Unidad de medición** |
|---|---|---|
| SST | Temperatura su perficial del mar | °C (grados centígrados) |
| PRCP | Precipitación | mm (milímetros) |
| Z20 | Profundidad de Isoterma de 20°C | m (metros) |
| SSH | Nivel medio del mar | m (metros) |
| HC300 | Contenido calórico en 300 m | 10x10 $^9$ Joules |

Las anomalías se obtuvieron restando los valores del promedio mensual de los últimos 30 años (1981-2010).

## MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se utilizaron datos asimilados de la versión 2.2.8 de SODA para determinar la influencia oceánica en la costa ecuatoriana, para lo cual se realizaron diagramas Hovmöller, análisis de funciones ortogonales empíricas con las anomalías de las variables oceánicas (temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros y nivel medio del mar) y correlaciones cruzadas de las variables oceánicas con la precipitación en la costa, buscando enfatizar su relación con los eventos ENOS y su influencia en la precipitación en las estaciones costeras.

Las EOF (funciones ortogonales empíricas) se hallan computando los valores propios y vectores propios de una matriz de covarianzas de las anomalías ponderadas espacialmente. Los pesos espaciales son el coseno (latitud) o la raíz del coseno (latitud). Los valores propios derivados proveen la medida de porcentaje de explicación de la varianza de cada modo.

El campo es particionado en modos matemáticamente ortogonales que en muchos casos son interpretados como estructuras atmosféricas y oceanográficas (NCAR, 2013). Dos funciones son ortogonales cuando la suma (o integral) del producto sobre un definido espacio (o tiempo) es cero. Las EOF se determinan solo entre las posibles opciones limitadas en que las amplitudes de tiempo no están correlacionadas con la data muestreada.

Esto quiere decir que la variabilidad de tiempo no está correlacionada entre cada EOF (Emery& Thomson, 2004).

Las series de tiempo (componentes principales) se obtienen proyectando los vectores propios sobre las anomalías espaciales pesadas. Esto resulta en la amplitud de cada modo del periodo de estudio.

Los gráficos y análisis se realizaron con las herramientas de visualización y análisis Ferret y Matlab.

## RESULTADOS

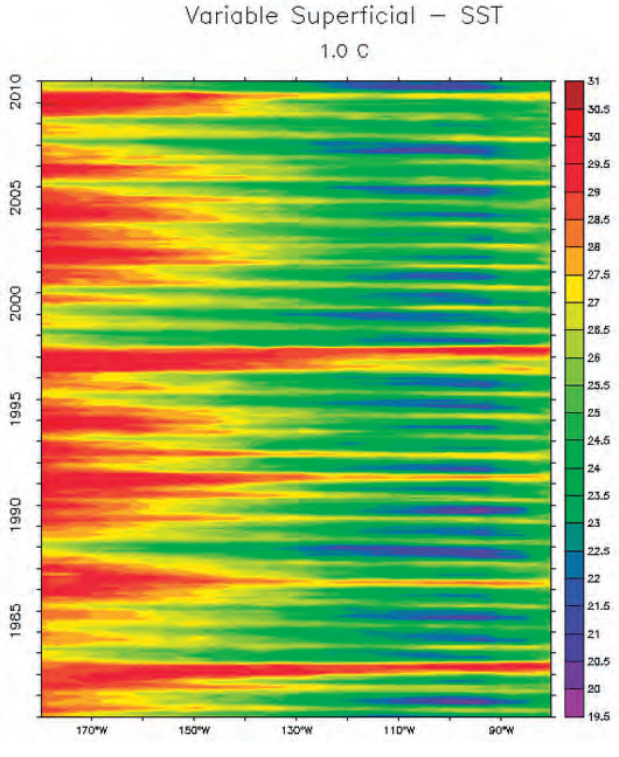
Evolución de la influencia oceánica entre 1981-2010

Para este análisis se emplearon las variables temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros y nivel medio del mar tomadas del reanálisis de SODA 2.2.8 y las anomalías de las mismas para realizar diagramas Hovmöller (longitud vs tiempo) con el fin de resaltar la propagación de la onda Kelvin y enfatizar las anomalías presentes por la ocurrencia de eventos ENOS.

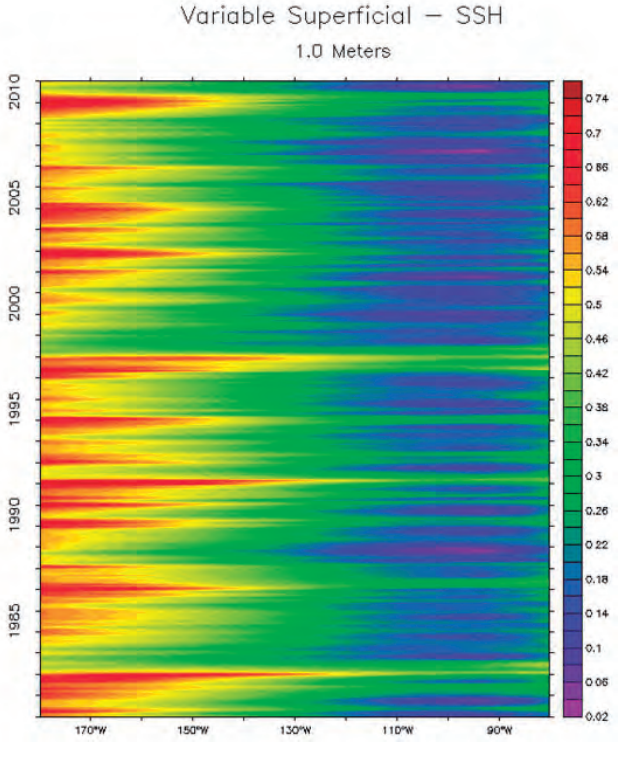
Cada una de las variables mencionadas registra valores anómalos en los años en que acontecieron eventos ENOS, sean estas condiciones cálidas o frías en el perfil costero.

La onda Kelvin se propaga en una dirección de oeste a este, se puede observar que entre las longitudes 180-80 W en la latitud ecuatorial es el momento en que la onda Kelvin atraviesa el Pacífico hasta llegar a nuestras costas y la manera en que varían las condiciones durante la ocurrencia de un evento ENOS.

Las variaciones más pronunciadas en los valores en el Pacífico Este, de las variables oceánicas analizadas coinciden con la ocurrencia y permanencia de los eventos ENOS asociados a la precipitación. En la figura 1 las variaciones más marcadas se encuentran en los periodos cálidos de 1982-1983y 1997-1998; y los periodos fríos de 1988-1989 y 2007-2008 en todas las variables.




**a)**




**b)**

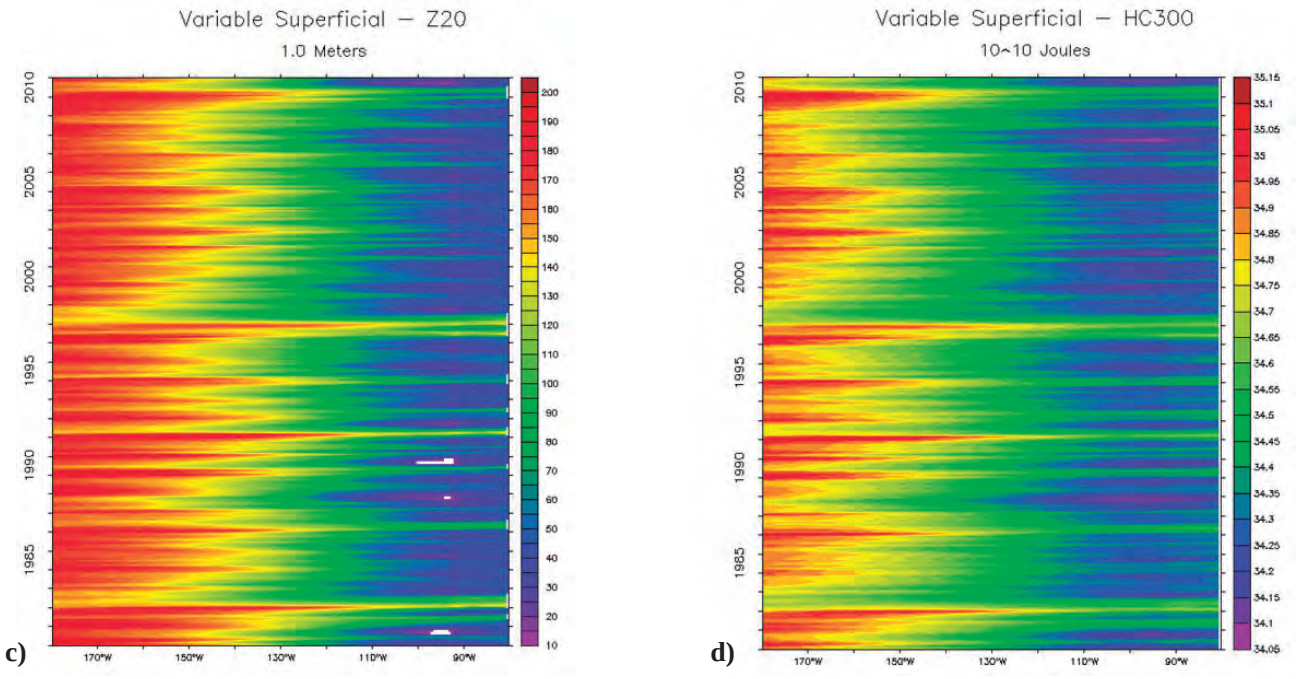



**Figura 1** Evolución de las variables temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico a 300 m; en los últimos 30 años a lo largo del Océano Pacífico

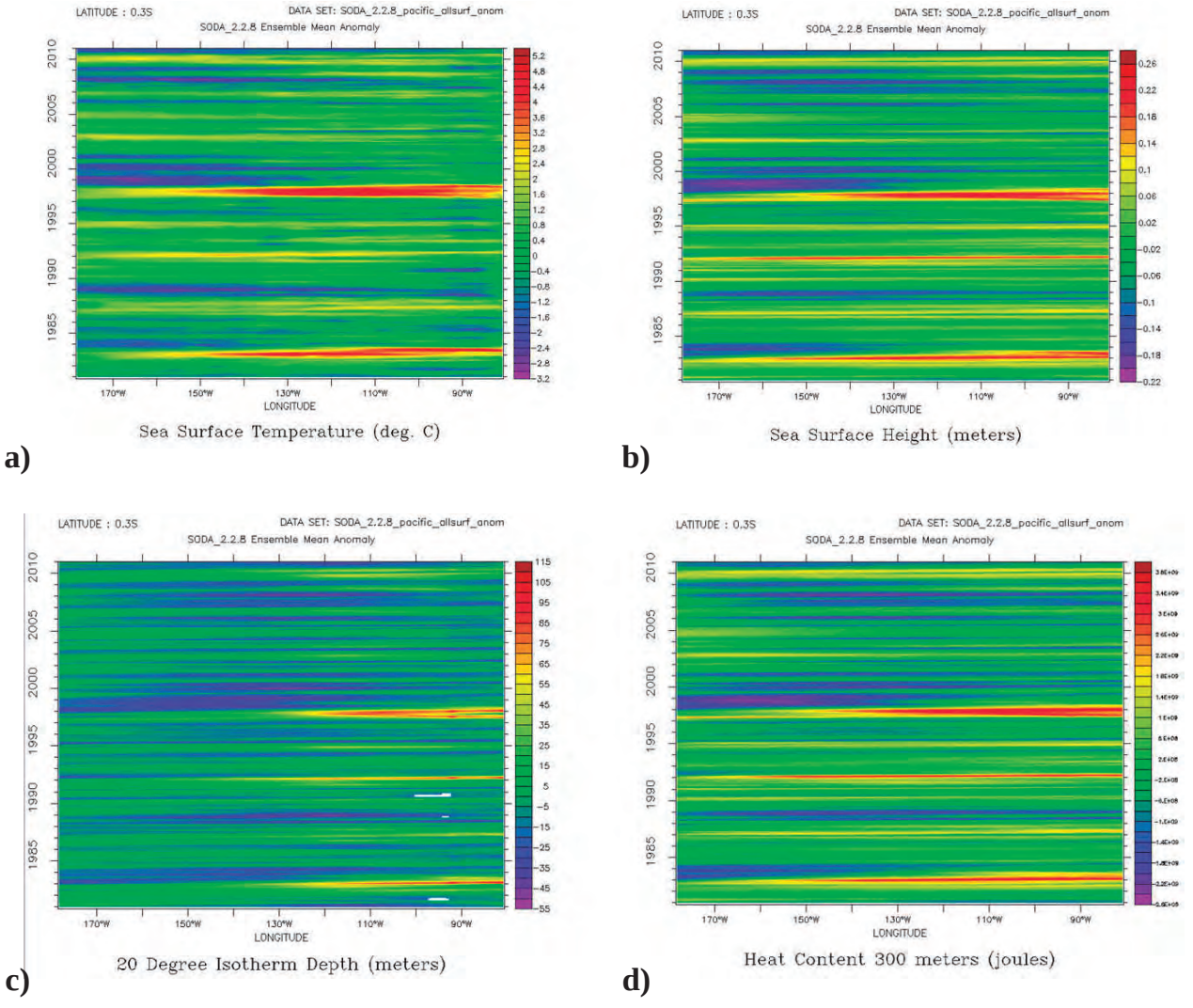



**Figura 2.** Evolución de las anomalías de las variables temperatura superficial del mar, nivel del mar, profundidad de la isoterma de 20°C y contenido calórico a 300 m; en los últimos 30 años a lo largo del Océano Pacífico.

Con los diagramas realizados con el set de datos de las variables sin transformación es más clara la propagación de la onda Kelvin. De esta manera se resalta que el iniciador de las condiciones anómalas son las ondas periódicas que durante eventos ENOS llevan masas de agua cálida sub-superficial de oeste a este.

En la figura 2, el diagrama de las anomalías muestra claramente la variación interanual y se observa con más detalle la magnitud y permanencia de los eventos.

Desde el último evento fuerte de 1997-98 se puede observar que la ocurrencia de eventos cálidos ha disminuido y que la periodicidad de eventos cálidos y fríos no se puede distinguir con claridad, cambiando su ciclo normal de 2-7 años. Mostrándose un calentamiento debido a la profundización de la isoterma de 20°C acontecido únicamente hasta las Islas Galápagos.

A diferencia de los eventos cálidos, los eventos fríos parecen haber aumentado su frecuencia en los últimos 10 años, después del evento frío más fuerte y de mayor duración en 1999- 2001. Pese a que no se ha vuelto a presenciar un evento frío con las condiciones como las de 1999-2001.

## ANÁLISIS DE FUNCIONES ORTOGONALES EMPÍRICAS

Se realizó el análisis de funciones ortogonales empíricas, EOF por sus siglas en inglés, de las anomalías mensuales de las variables temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros y nivel del mar. Para cada variable se tomaron la anomalías de la región 140W – 80W y 15N - 15S en el rango de años de 1981-2010.

Se utilizó dicho análisis para extraer las variaciones coherentes que dominan en un grupo de series de tiempo. Los EOF generan índices de series temporales como típicas aplicaciones de un análisis de componentes principales. Este nuevo grupo de variables denominadas Componentes Principales resultan de la combinación lineal de las variables originales, con la particularidad que todas las componentes son ortogonales logrando así que no exista redundancia en la información en estos nuevos parámetros; obteniendo la descomposición de la señal en la región estudiada tomando en cuenta la serie temporal y los patrones espaciales de cada variable.

La Figura 3 a la izquierda, muestra la distribución EOF espacial y la EOF temporal de las primeras 3 componentes a la derecha.

Los gráficos de las componentes espaciales indican las zonas con mayor peso, aquellas donde existe la mayor variabilidad de anomalías de temperatura superficial del mar, la posición geográfica que describe el mayor porcentaje de varianza. Se puede observar que la serie de la primera EOF temporal señala los eventos ENOS ocurridos en los últimos 30 años. El gráfico de la segunda EOF temporal muestra el mayor peso en la región donde normalmente influye la corriente fría de Humboldt.

Las primeras dos EOF espaciales pueden identificarse como dos modos o estructuras climáticas diferentes. De tal manera que en la figura 5 se puede observar que superponiendo las series de la primera y segunda componente, la segunda componente muestra sus picos con diferente temporalidad a aquellos señalados en la EOF que abarca el Pacífico Central. Estas estructuras climáticas hacen referencia a los Eventos ENOS del Pacifico Central CP y a los Eventos ENOS del Pacífico Este (Ashok, 2007).

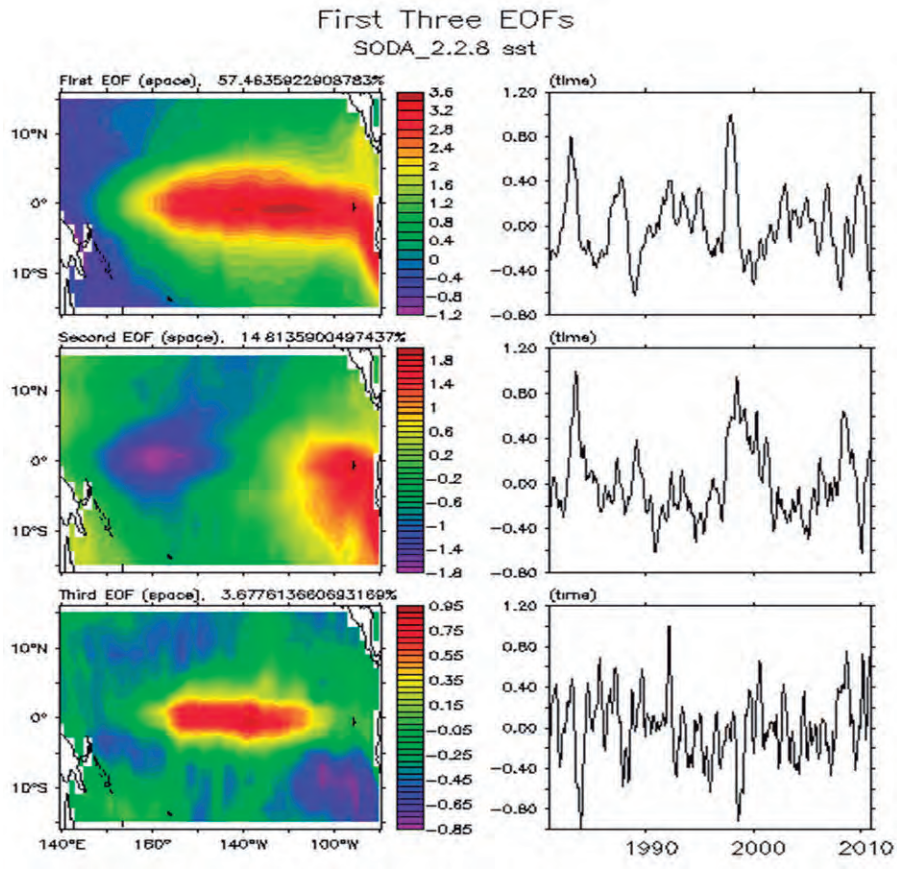



**Figura 3.** Funciones ortogonales empíricas de la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico

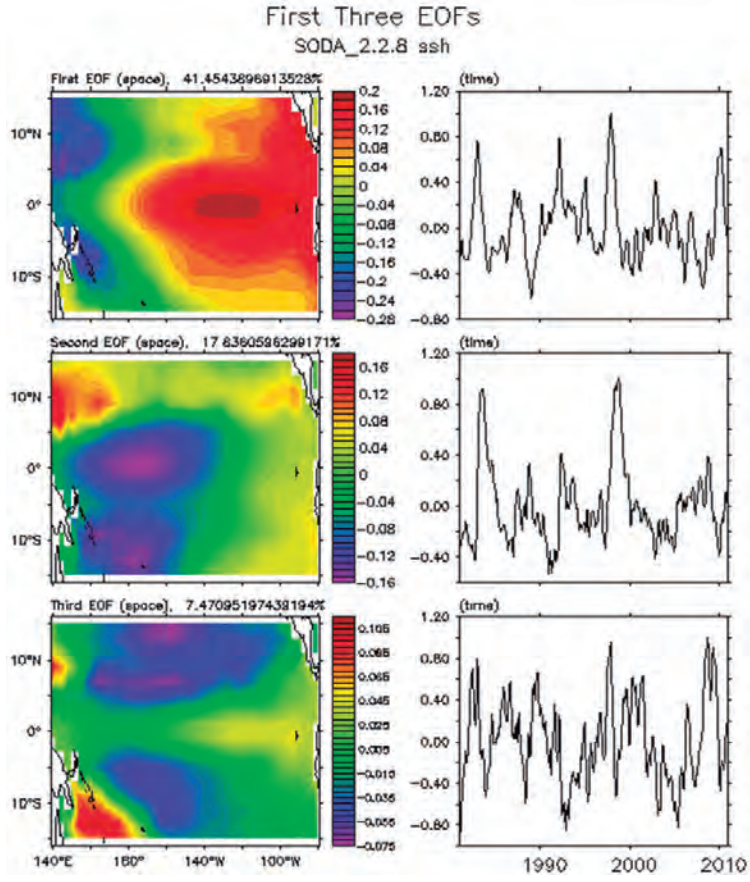



**Figura 4.** Funciones ortogonales empíricas del nivel medio del mar en el Océano Pacífico.

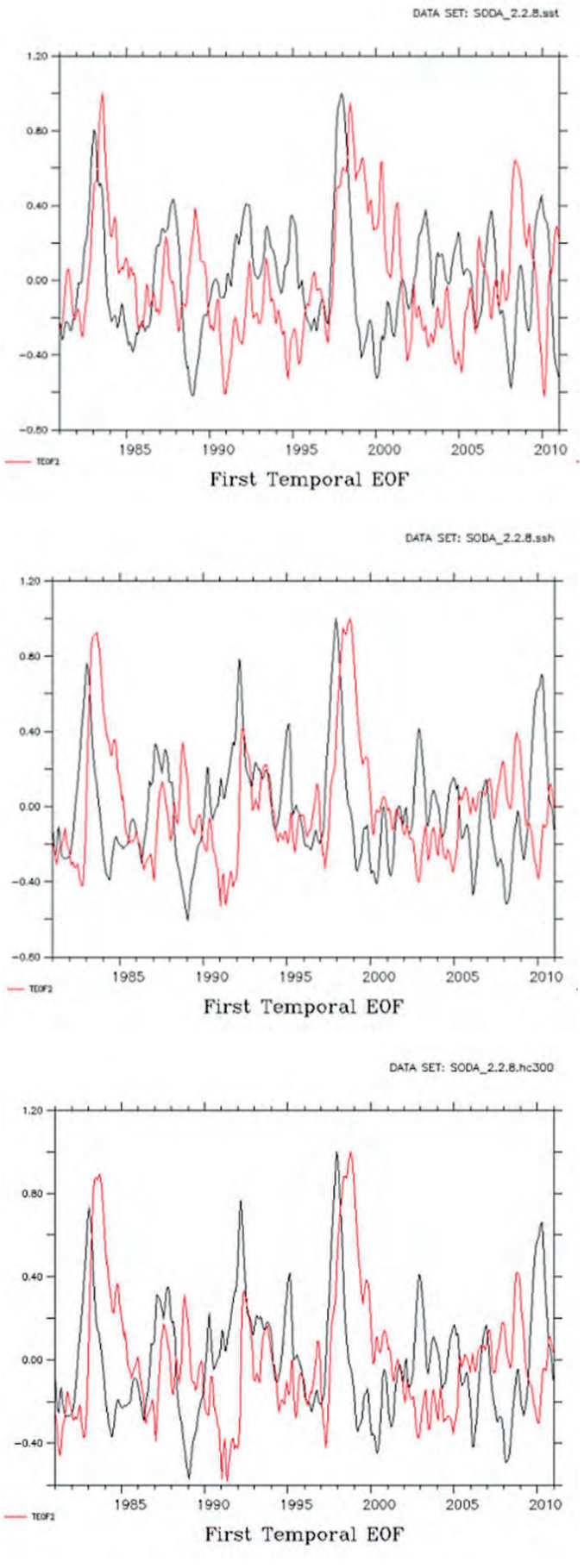



**Figura5.** Primera y segunda EOF temporal de temperatura superficial del mar, nivel del mar y contenido calórico a 300 metros.

La segunda estructura o modo climático nos puede dar un indicio de la permanencia y magnitud de las condiciones cálidas en el Pacífico Este.

La tercera EOF espacial concentra su mayor peso en la región Niño 3.4. Cuando las componentes no son rotadas la tercera EOF temporal mostró una tendencia positiva, la misma que puede indicar calentamiento en la zona de estudio. La suma de varianza de los tres primeros EOF es de 75.954, esto quiere decir que los 3 componentes incluidos en el modelo son capaces de explicar el 76 por 100 de la variabilidad total de los parámetros físicos analizados, lo que puede interpretarse como un porcentaje aceptable; considerando que se están analizando variables ambientales que son conocidas por no seguir un patrón establecido y que pueden ser afectadas por diversos factores, solo un 24 por 100 deja de ser explicado por las EOF y que es atribuido a la presencia de otros principios.

La Figura 4 muestra la distribución EOF espacial y EOF temporal de las primeras 3 componentes de las anomalías de nivel medio del mar. En el caso del nivel medio del mar el mayor peso de la primera EOF espacial se encuentra al Este del Pacífico concentrándose entre 140-90 Oeste. La segunda EOF espacial muestra su mayor peso en el Pacífico Norte, mientras que la tercera EOF espacial presenta su mayor peso en Sur de Australia. La suma de varianza de los tres primeros EOF es de 66.761, esto quiere decir que explica el 67% de la variabilidad total, porcentaje que aunque menor que el del análisis EOF de la temperatura superficial del mar es considerado aceptable.

La Figura 6 muestra la distribución EOF espacial y EOF temporal de las primeras 3 componentes de las anomalías de contenido calórico a 300 metros. El mayor peso de la primera EOF espacial se encuentra al Este del Pacífico concentrándose entre 140-90 Oeste. La segunda EOF espacial muestra su mayor peso en el Pacífico Norte, mientras que la tercera EOF espacial presenta su mayor peso en el Norte y Sur de Australia, así como en el Pacífico ecuatorial en menor cantidad.

La tercera EOF espacial concentra su mayor peso en la región del Pacífico Central. Asimismo cuando las componentes no son rotadas la tercera EOF temporal muestra tendencia positiva, pese a que según Levitus et. al. (2007) no hay una tendencia asociada a la tercera EOF temporal en estudios en el Pacífico sobre contenido calórico y profundidad de la isoterma de 20°C.

La suma de varianza de los tres primeros EOF es capaz de explicar el 69 % de la variabilidad total, lo que puede interpretarse como un porcentaje aceptable. La mayor suma de varianza la obtenemos en la primera EOF espacial realizada con temperatura superficial del mar. Sin embargo, se puede observar que en las primeras EOF temporales de las variables analizadas se acoplan con diferencias mínimas, estando mejor acopladas las primeras componentes de nivel del mar y contenido calórico como se puede observar en la figura 7.

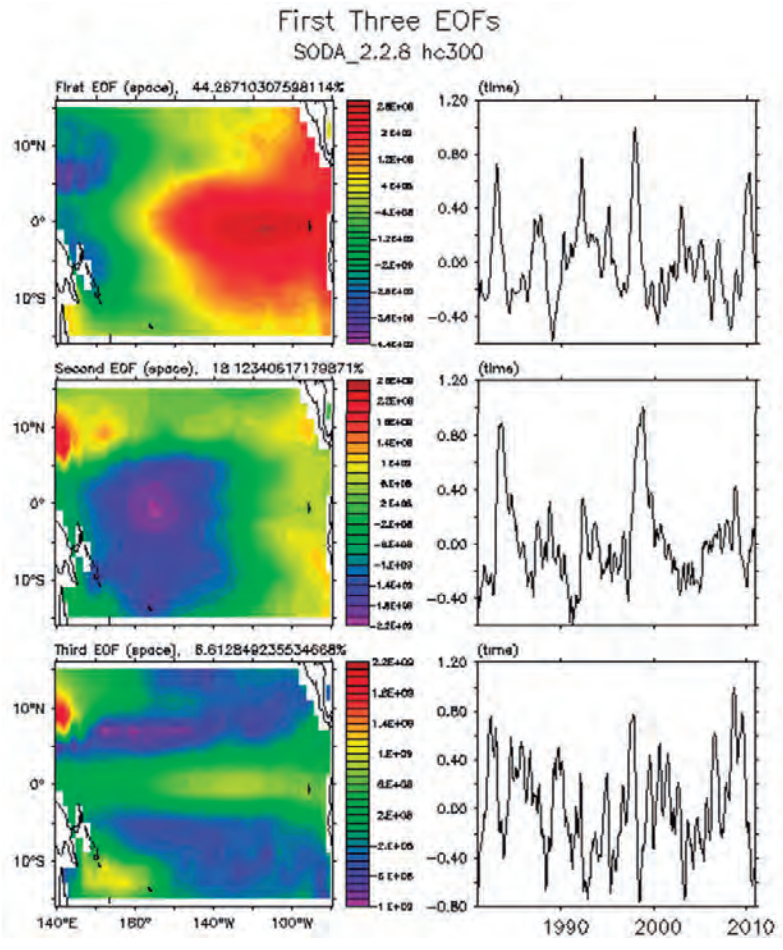



**Figura 6.** Funciones ortogonales empíricas de contenido calórico en el Océano Pacífico.

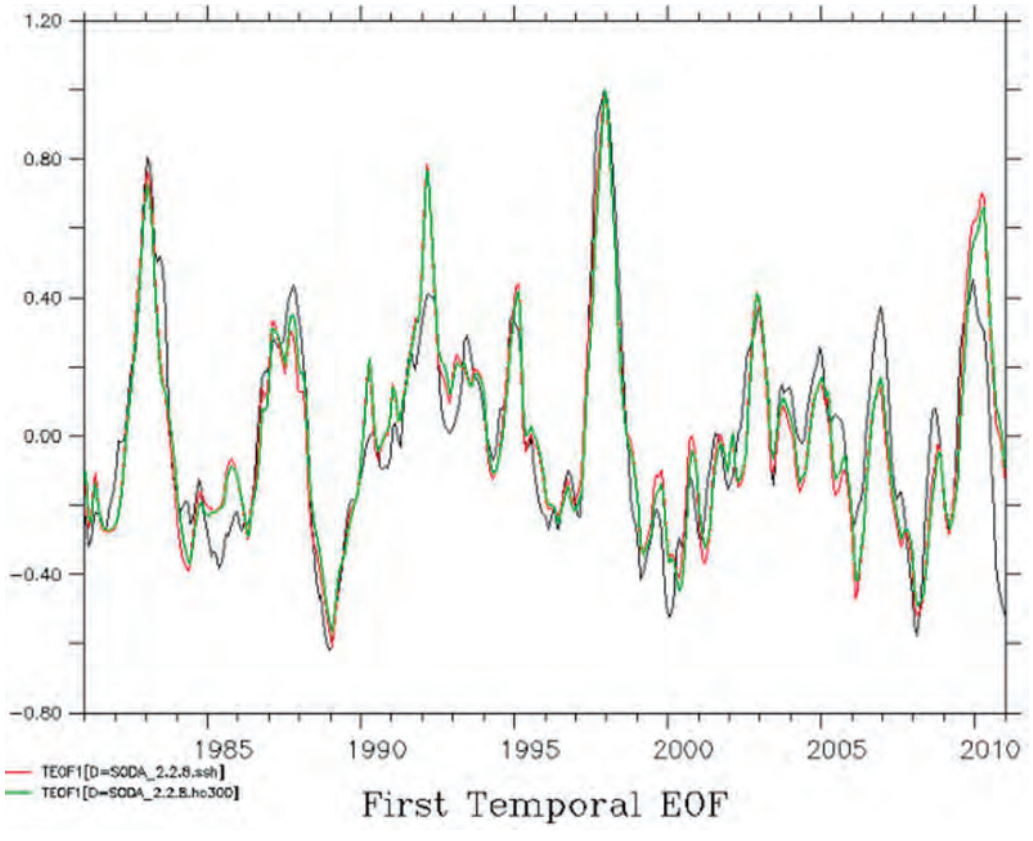



**Figura 7.** Primeras EOF temporales del análisis EOF realizado con SST, SSH y HC300

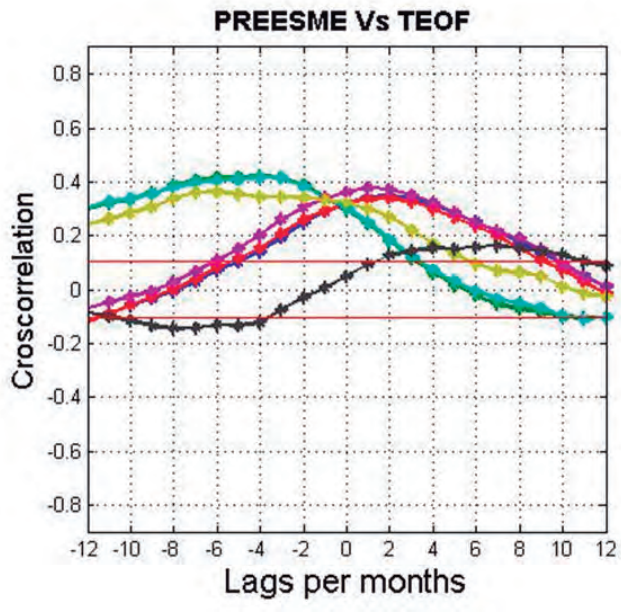
Las mismas que denotan los eventos ENOS claramente definidos por los picos positivos y negativos. Esto es posible debido a que las mismas están relacionadas de cierto modo, la temperatura superficial del mar forma parte del cálculo del contenido calórico, el mismo que está relacionado con la expansión térmica y que a su vez influye en la variabilidad del nivel del mar.

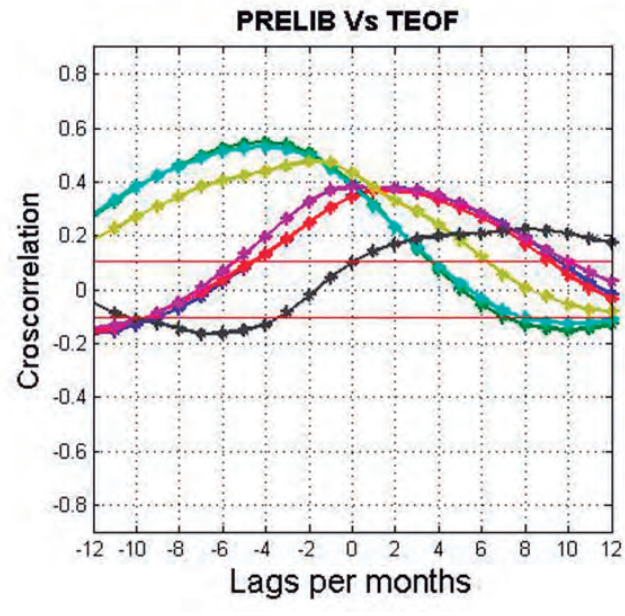
## CORRELACIONES CRUZADAS ENTRE PRECIPITACIÓN Y LAS EOF TEMPORALES

Se realizaron correlaciones cruzadas entre las anomalías de las precipitaciones de las estaciones costeras en las localidades de Esmeraldas, Libertad, Manta, Puerto Bolívar y Puerto Ayora; las mismas en las que se encontraron correlaciones significativas presentando retardos en algunas estaciones, como se muestra en la figura 8.

En relación al análisis EOF realizado con la temperatura superficial del mar se obtuvo que la precipitación de Esmeraldas está retardada 1 mes con respecto a la primera EOF temporal con un coeficiente cercano a 0.4. La precipitación de Manta está retardada 1 mes con respecto a la primera EOF temporal con un coeficiente cercano a 0.4. La precipitación de La Libertad y Puerto Bolívar no presentan retardo con respecto a la primera EOF temporal, mostrando un coeficiente cercano a 0.4. La precipitación de Puerto Ayora está adelantada 1 mes con respecto a la primera EOF temporal con un coeficiente cercano a 0.5.

En vista de que en la distribución espacial de la EOF de la temperatura superficial del mar de la segunda componente denotaba la mayor variabilidad en la zona de la corriente de Humboldt se realizaron correlaciones cruzadas entre la segunda componente y la precipitación en las estaciones costeras. La correlación cruzada entre la segunda EOF temporal muestra que la precipitación en Esmeraldas está adelantada 6 meses a esta, la precipitación en La Libertad y Manta están adelantadas dos meses con respecto a la segunda EOF temporal, la correlación es de casi 0.5. La precipitación en Puerto Ayora está adelantada tres meses con respecto a la segunda EOF temporal, con coeficiente cercano a 0.4 La correlación cruzada muestra que la precipitación en Puerto Bolívar está adelantada dos meses con respecto a la segunda EOF temporal.



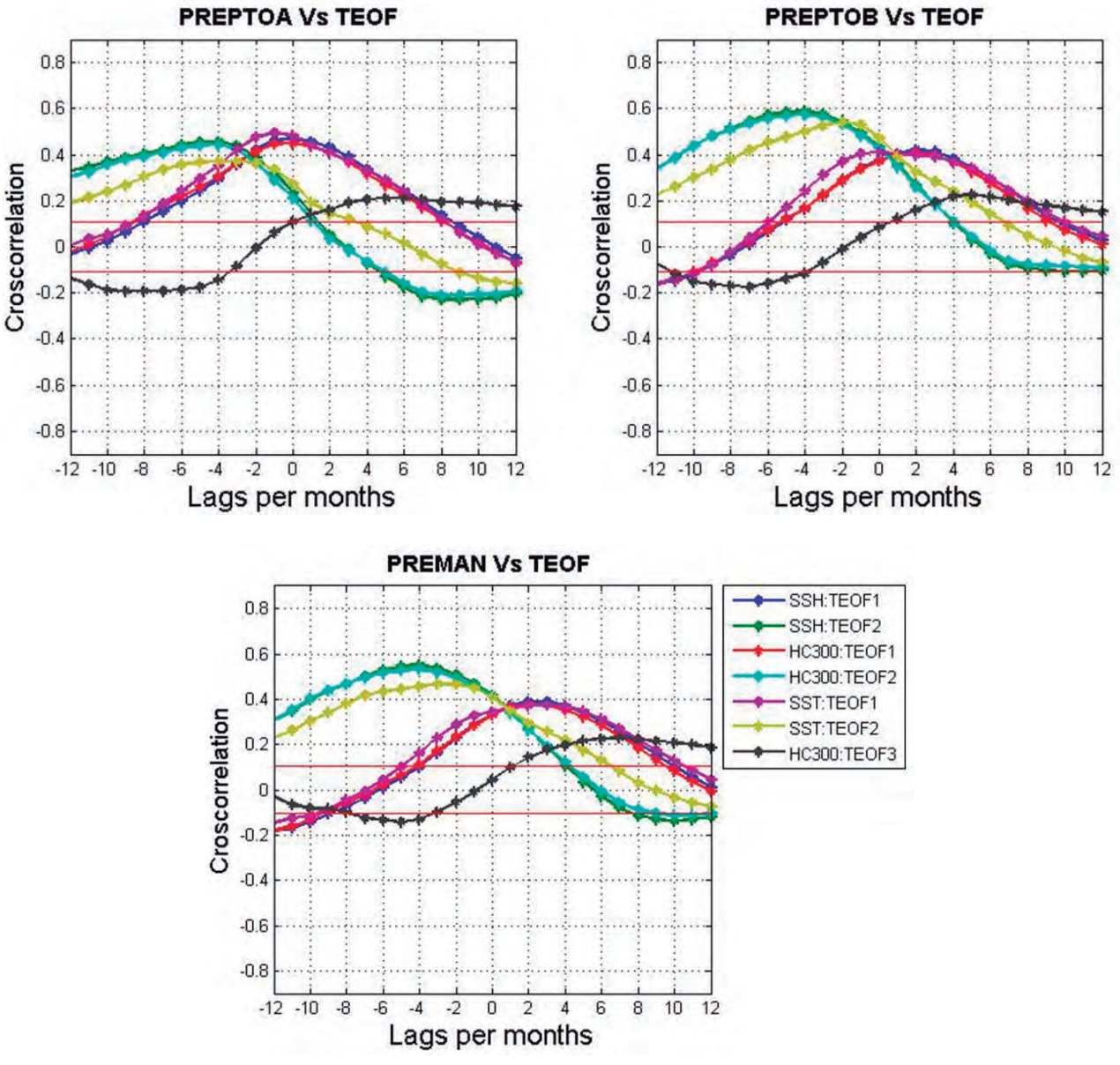



**Figura 8** Correlación cruzada entre la precipitación de las estaciones Esmeraldas, Manta, La Libertad, Puerto Bolívar y Puerto Ayora con las EOF de SST, SSH y HC300.

Se observó que existe una correlación cercana a 0.6 y los máximos picos de precipitación se dan aproximadamente seis meses después de los picos de la segunda componente en Esmeraldas, dos meses en Libertad, Manta y Puerto Bolívar; y tres meses en Puerto Ayora.

En otras palabras, para la estación de Libertad y Puerto Bolívar cuando la primera EOF temporal presenta valores altos, simultáneamente la precipitación mostrará sus valores altos y dos meses antes la segunda EOF temporal mostró sus picos.

Sin embargo, para la estación de Esmeraldas cuando la primera EOF temporal (TEOF1) presenta valores altos un mes después la precipitación mostrará sus valores altos y seis meses después la segunda EOF temporal evidenciará sus máximos picos. Esta relación nos indica que los picos de la segunda EOF temporal coinciden con el tiempo en que las condiciones frías en el Pacífico Este prevalecen y como la corriente fría de Humboldt condiciona las estaciones del Sur y del Norte.

La tercera EOF temporal mostró correlaciones bajas pese a que se encontraron por encima de

las bandas límites del ±0.1 a partir de las cuales son significativos los retardos. Con Esmeraldas la correlación estuvo próxima a 0.2, Libertad con 0.25, Manta cercano a 0.2, Puerto Ayora con 0.2 y Puerto Bolívar cercano a 0.25.

En cuanto a la primera EOF temporal de contenido calórico a 300 m se obtuvo que la precipitación de Esmeraldas, Manta, La Libertad y Puerto Bolívar está retardada 2 mes con respecto a la primera EOF. Mientras que Puerto Ayora no presenta retardo con respecto a la primera EOF temporal.

Los mismos retardos se presentan con la primera EOF temporal de contenido nivel medio del mar.

**Tabla 3** Coeficientes de correlación cruzada de los índices Niño regionales con la primeray segunda EOF temporal de SST, SSH y HC300.

| | TEOF1 TSM | | TEOF1 NMM | | TEOF1 HC300 | | TEOF2 TSM | | TEOF2 NMM | | TEOF2 HC300 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ρ | lag | ρ | lag | ρ | lag | ρ | lag | ρ | lag | ρ | lag |
| N 1+2 | 0,8 | 1 | 0,65 | 0 | 0,65 | 1 | 0,3 | 4 | 0,6 | 0 | 0,6 | 6 |
| N 3 | 0,9 | 1 | 0,85 | 1 | 0,85 | 1 | 0,35 | 2 | 0,5 | 9 | 0,42 | 9 |
| N 3.4 | 0,9 | 1 | 0,83 | 1 | 0,83 | 1 | 0,3 | 2 | 0,8 | 1 | 0,3 | 9 |
| N 4 | 0,8 | 1 | 0,8 | 1 | 0,75 | 1 | 0,2 | 2 | 0,7 | 1 | 0,1 | 12 |

Como se indica en la tabla 3 las correlaciones entre los índices de las regiones Niño y la primera componente EOF temporal de los análisis con cada variable. Todas muestran correlaciones altas y todas con excepción del Niño 1+2 presentan un adelanto del índice de la región Niño con respecto a la primera componente.

A pesar de que nos referimos a la fase cálida “El Niño” es importante considerar que estos eventos cálidos desencadenan variabilidad en posición y magnitud (Giese & Ray, 2011). Cuando se habla de magnitud se puede resaltar que Yu & Kao (2009) postularon que puede haber 2 tipos de ENOS, uno tipo EP en el Pacífico Este, en el cual el mecanismo de generación involucra variaciones en la termoclina a lo largo del pacifico ecuatorial y el segundo tipo centro pacifico CP que se localiza en el pacifico tropical central y cuyo desarrollo no es sensible a las variaciones de la termoclina. Mcphaden et. al.(2011) mostraron en un estudio que en los últimos 31 años hay eventos ENOS de tipo CP más frecuentes que EP, que los vientos alisios se han fortalecido y que la termoclina se ha desnivelado más rápidamente hacia abajo al oeste en el Pacífico Tropical. De ahí la importancia de determinar qué tipo de evento es el que está más relacionado con los impactos en el Litoral ecuatoriano y más específicamente el área del océano Pacífico en que la temperatura incide en las precipitaciones del Litoral.

## CONCLUSIONES

Se utilizó datos asimilados de la versión 2.2.8 de SODA para determinar la influencia oceánica en la costa ecuatoriana, para lo cual se buscó enfatizar las anomalías en la costa ecuatoriana de las variables en cuestión durante los eventos ENOS y su influencia en la precipitación en las estaciones costeras.

Para el análisis se verificó el comportamiento de

las variables oceánicas: temperatura superficial del mar, contenido calórico a 300 metros, profundidad de la isoterma de 20ºC y nivel medio del mar y sus respectivas anomalías, las mismas que se relacionan o muestran señales durante los eventos ENOS; a través de la interpretación de diagramas Hovmöller, análisis de funciones ortogonales empíricas y correlaciones cruzadas.

Con los diagramas Hovmöller se pudo observar que las anomalías más fuertes se dan durante los eventos ENOS cálidos El Niño y se muestra claramente la propagación de la onda Kelvin, dicha condición se cumple para cada variable analizada.

Con el análisis EOF se obtuvo resultados que evidencian que en las tres variables la primera componente muestra los eventos ENOS, la segunda los eventos fríos, y la tercera la tendencia de la serie temporal. La correlación cruzada indicó que las precipitaciones de las estaciones costeras esta retardadas de dos a tres meses a excepción de Puerto Ayora que se encuentra adelantada en unos casos y sin retardos en otros.

Estos nuevos acercamientos tienen el potencial de mejorar la representación de ENOS y enfatizan la importancia de un monitoreo subsuperficial de las condiciones oceanográficas en el Pacífico Central. (considero que el aporte más importante es que nos permiten comprender de mejor manera las afectaciones de los eventos ENOS en el Pacífico Este al cuantificar la correlación entre las variables medidas y los valores entregados por SODA).

## REFERENCIAS

Belmadani, A. &Dewitte, B. (2010) ENSO feddbacks and associated time scales of variability in a multimodel ensemble. American Metereological Society, 23, 3181-3204,doi: 10.1175/2010JCLI2830.1

Chang, P., Zhang, L., Saravanan, R., Vimont, D., Chiang, J., Ji, L., Seidel, H. &Tippett, M.

(2007) Pacific meridional mode and El Niño-Southern Oscillation. Geophysical Research Letters, 34, L16608, doi:10.1029/2007GL030302

Clement, A., Dinezio, P. &Deser, C. (2011) Rethinking the ocean's role in the southern oscillation. Journal of climate, 24, 4056-4072.

Dai, A. &Wigley, M. l. (2000) Global patterns of ENSO-induced precipitation.Geophysical research letters, 27, 9, 1283-1286.

Dai, A., Fung, I. & Del Genio, A. (1997) Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988.Journal of climate, 10, 2943-2962.

Emery, W. J. & Thomson, R. E. (2004) Data analysis methods for physical oceanography. Chapter 4. Elsevier. London.

Fedorov, A. V. & Philander, S. G. (2000) Is El Niño changing? Science, 288, 1997-2002, doi:10.1126/science.288.5473.1997 Hsung-Ying, K. & Jin-Yi, Y. (2009) Contrasting Central Pacific Types of ENSO. American Meteorological Society, 22, 615-632.

Kessler, W. S. (2001) EOF Representations of the Madden-Julian Oscillation and its connection with ENSO.Journal of climate, 14, 3055-3061.

Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Garcia, H. E. &Locarnini. (2005) EOF analysis of upper ocean heat content, 1956-2003. Geophysical Research Letters, 32, L18607 doi:10.1029/2005GL023606

National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Últimamodificación 22 Jul 2013. "The Climate Data Guide: Empirical Orthogonal

Function (EOF) Analysis and Rotated EOF Analysis. Tomado de https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data-tools-and-analysis/empirical-orthogonal-function-eof-analysis-and-rotated-eof-analysis

Wang, B. (2002) Kelvin waves. Elsevier doi:10.1006/rwas.2002.0191

Hernández, F. & Zambrano, E. (2009) Relación entre la temperatura superficial del mar del océano Pacífico Oriental y las precipitaciones en la costa del Ecuador. Actaoceanográfica, vol. 15 N° 1.

Kao, H. & Yu, J. (2009) Contrasting Eastern Pacific and Central Pacific Types of ENSO.American Meteorological Society, 22, 615- 632.doi: 10.1175/2008JCLI2309.1

McPhaden, M. J., Lee, T. & McClurg, D. (2011) El Niño and its relationship to changing background conditions in the tropical Pacific Ocean. Geophysicalresearchletters, 38, L15709.

Moreano, H., Zambrano, E., Suescum, R. & Paredes N. (1986) El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Philander, S. G. (1990), El Niño, La Niña, and theDouthernOscillation, 189 pp., AcademicPress, London.

Trenberth, K.&Stepaniak, D. (2001) Indices of El Niño evolution. Journal of climate, 14, 1697-1701.

Zambrano, E. (1986) El fenómeno del Niño y la oscilación del Sur. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Zambrano, E., Martínez, G. & Garcés-Vargas, J. (2000) Variabilidad oceanográfica en Ecuador asociada con el evento ENSO 1997-98. ActaoceanográficadelPacífico, vol. 10 N° 1.

Willis, J. K. Roemmich, D. &Cornuelle, B. (2004) Interannual variability in upper heat content, temperature, and thermosteric expansion on global scales.Journal of geophysical research, vol. 109.

# LA RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN EN ECUADOR Y LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN EL OCÉANO PACÍFICO

Howard F. Seidel [1]
Carlos Perugachi-Salamea [2]
Isabel García-Arévalo [2]
Mariela González-Narváez [2]

## *RESUMEN*

*En este estudio se analiza la relación temporal y espacial de la precipitación en Ecuador con la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico adyacente a la costa del Ecuador. Esta relación es más evidente durante la fase cálida de El Niño- Oscilación del Sur (ENOS) cuando el calentamiento en el Pacífico Este tropical está asociado con el incremento de la precipitación en la región costera de Sudamérica. Esta región incorpora la región costa de Ecuador y el norte de Perú. A pesar de que los eventos cálidos están asociados al incremento de precipitación, la magnitud de este incremento varía; mientras que la asociación con eventos fríos es variable. En ambos casos la variabilidad no puede ser fácilmente explicada con los índices típicamente utilizados para medir la intensidad de ENOS. Se realiza un análisis detallado de la temperatura superficial del mar en un modelo oceánico global incorporando datos asimilados y precipitación de los periodos 1950-2010 y 1981-2010. El presente estudio ayuda a determinar las regiones espaciales en el Pacífico donde el calentamiento genera el mayor impacto en la precipitación y en las zonas costeras que se ven más afectadas por la variabilidad de la precipitación.*

***Palabras Claves:*** *ENOS, temperatura superficial del mar, precipitación*

## *ABSTRACT*

*In this study we analyze the temporal and spatial relationship of precipitation in Ecuador and the sea surface temperature (SST) in the Pacific Ocean adjacent to the coast of Ecuador. This relation is most evident during the warm phase of El Niño – Southern Oscillation (ENSO) when warming in the eastern tropical Pacific is associated with increased rainfall in the Pacific coastal regions of South America. This region incorporates the entire coastal region of Ecuador and the northern coastal region of Peru. Although all warm events are associated with increased precipitation in the region, the magnitude of this increase varies greatly. The decreased precipitation associated with the cold events is also variable. In both cases this variability cannot be easily explained using the indices typically used to measure the strength of ENSO. We make a detailed analysis of SST in a global ocean model incorporating data assimilation and precipitation observations for the periods from 1950-2010 and 1981-2010. This study helps to determine the spatial regions in the Pacific where warming has the greatest impact on precipitation and the coastal regions of Ecuador that are most affected by this variability in precipitation.*

***Keywords:*** *ENSO, Sea surface temperature,precipitation*

[1]Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador
[1]Proyecto índices ENOS. Instituto Oceanográfico de la INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

## INTRODUCCIÓN

Muchos estudios han demostrado la relación de la precipitación con los eventos El Niño Oscilación del Sur. El Niño Oscilación del Sur comprende dos manifestaciones diferentes del tipo más largo de variabilidad climática interanual en el planeta (Philander, 1990). El Niño es el componente oceánico de ENOS mientras que la Oscilación del Sur es el componente atmosférico. El componente oceánico posee una fase cálida, El Niño, y una fase fría, La Niña.

Los eventos cálidos usualmente se dan cada 2 a 7 años. En los eventos cálidos fuertes, la relación entre la precipitación y la componente oceánica resulta más evidente. La precipitación asociada a eventos ENOS está relacionada con cambios en la circulación atmosférica que a su vez es causada por anomalías en la temperatura superficial del mar y en los vientos tropicales (Dai&Wigley, 2000). Dicho de otro modo la temperatura superficial del mar influye en el incremento y la disminución de precipitación durante los eventos El Niño y La Niña respectivamente.

Ejemplo de aquello se dio en el evento de 1982-83, en el cual el desplazamiento hacia el Sur de la Zona de Convergencia Intertropical se produjo luego de una rápida intrusión de aguas cálidas en la costa ecuatoriana. En dicho evento las anomalías de temperatura superficial del mar formaron una banda entre los meridianos 95 y 140W en el Pacífico Ecuatorial desde octubre del 82 (Zambrano, 1986). De la misma manera el evento de 1997-98 estuvo influenciado por el calentamiento superficial con niveles anómalos positivos de temperatura superficial del mar (Zambrano et al, 2000). Así mismo Hernández & Zambrano (2009) identificaron una correlación directa entre la temperatura superficial del mar de las estaciones costeras y la precipitación en la costa del Ecuador, obteniendo índices de correlación entre 0.5 y 0.85 en 7 estaciones costeras del INOCAR.

A pesar de que nos referimos a la fase cálida “El Niño” es importante considerar que estos eventos cálidos desencadenan variabilidad en posición y magnitud (Giese&Ray, 2011). Cuando se habla de magnitud se puede resaltar que Kao&Yu (2009) postularon que puede haber 2 tipos de ENOS, uno tipo EP en el Pacífico Este y el segundo tipo centro pacifico CP que se localiza en el Pacífico Tropical Central. Mcphaden et al .(2011) señalan que en los últimos 31 años hay eventos ENOS de tipo CP más frecuentes que EP. De ahí la importancia de determinar qué tipo de eventos es el que está más relacionado con los impactos en el litoral ecuatoriano y más específicamente el área del océano Pacífico en que la temperatura incide en las precipitaciones del litoral.

Por otro lado, la magnitud del evento dependerá de la permanencia de las condiciones, las mismas que se verán afectadas por el momento en que se desencadena el evento. De ahí yace la importancia de buscar una metodología que contribuya en definir la ocurrencia y magnitud de los eventos ENOS relacionados con la precipitación en el litoral ecuatoriano. Mediante el presente trabajo se pretende analizar la relación espacio temporal entre la temperatura superficial del mar y la precipitación en la costa ecuatoriana y la interacción de las mismas durante eventos cálidos como El Niño y fríos como La Niña.

## DATOS Y MÉTODOS

Para este análisis la data usada fue tomada del Simple Ocean Data Assimilation SODA, versión 2.2.8. La data de precipitación utilizada para los análisis que se presentarán posteriormente proviene de la base de datos global WRCP GCOS GPCC, versión sexta y de las estaciones costeras del Instituto Oceanográfico de la Armada, las mismas que se detallan en la Tabla 1 con sus respectivas ubicaciones geográficas:

**Tabla 1** Ubicaciones geográficas de las estaciones costeras de monitoreo INOCAR

| ESTACIONES COSTERAS | | | |
|---|---|---|---|
| **LUGAR** | **PROVINCIA** | **LATITUD** | **LONGITUD** |
| MANTA | MANABI | 00º56´06" S | 80º43´222W |
| ESMERALDAS | ESMERALDAS | 00º59´00" N | 79º39´00W |
| LA LIBERTAD | SANTA ELENA | 02º12´58"S | 80º43´22"W |
| PUERTO BOLIVAR | EL ORO | 03º16´0"S | 80º00´00"W |

Los parámetros utilizados para los análisis efectuados y que provienen de SODA 2.2.8 son temperatura superficial del mar y anomalías de temperatura superficial del mar. Adicionalmente se utilizaron los índices globales de ATSM de las regiones: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4, con datos asimilados de SODA.

Para determinar la relación entre la precipitación y la temperatura superficial del mar en primer lugar se identificaron las correlaciones entre la temperatura superficial del mar de los datos asimilados SODA 2.2.8 con la precipitación de las estaciones costeras. Así también se determinó la correlación de la precipitación en el continente de la WRCP GCOS GPCC y los índices globales.

Se analizaron dos eventos fríos y cálidos de los últimos 30 años y su relación con la precipitación.

Además de los índices Niño regionales se utilizó las series de amplitud y longitud del Índice centro de calor. El índice centro del calor CHI y centro de enfriamiento CCI se basa en la ubicación de las anomalías de temperatura superficial superiores e inferiores a 0.5°C en una banda que atraviesa el Pacifico Tropical (120E-70W: 5N-5S) del tamaño de la región Niño 3.4.

El índice nos muestra el centro de la temperatura pesada, en términos de longitud, del área en que la anomalía existe únicamente si el área es mayor o igual a la región Niño 3.4. Este índice posee 3 componentes: longitud, área y amplitud.

$$\text{CHI amplitud} = \frac{\sum sst_anom \times area}{\sum \text{area}}$$

La metodología propuesta por Carton&Giese (2011) fue modificada para el desarrollo de un índice basado en un área para la identificación de los eventos ENOS que han estado correlacionados con la precipitación en los últimos 30 años. Con el fin de demostrar que la temperatura superficial de determinada área influye en las precipitaciones presentes en la costa ecuatoriana.

Los gráficos y análisis se realizaron empleando la herramienta de visualización, análisis Ferret y el software Matlab.

## RESULTADOS

El re-análisis de datos asimilados SODA 2.2.8 es utilizado para explorar la relación entre la precipitación y la temperatura superficial del mar, utilizando como herramienta principal la correlación sea esta simple o cruzada.

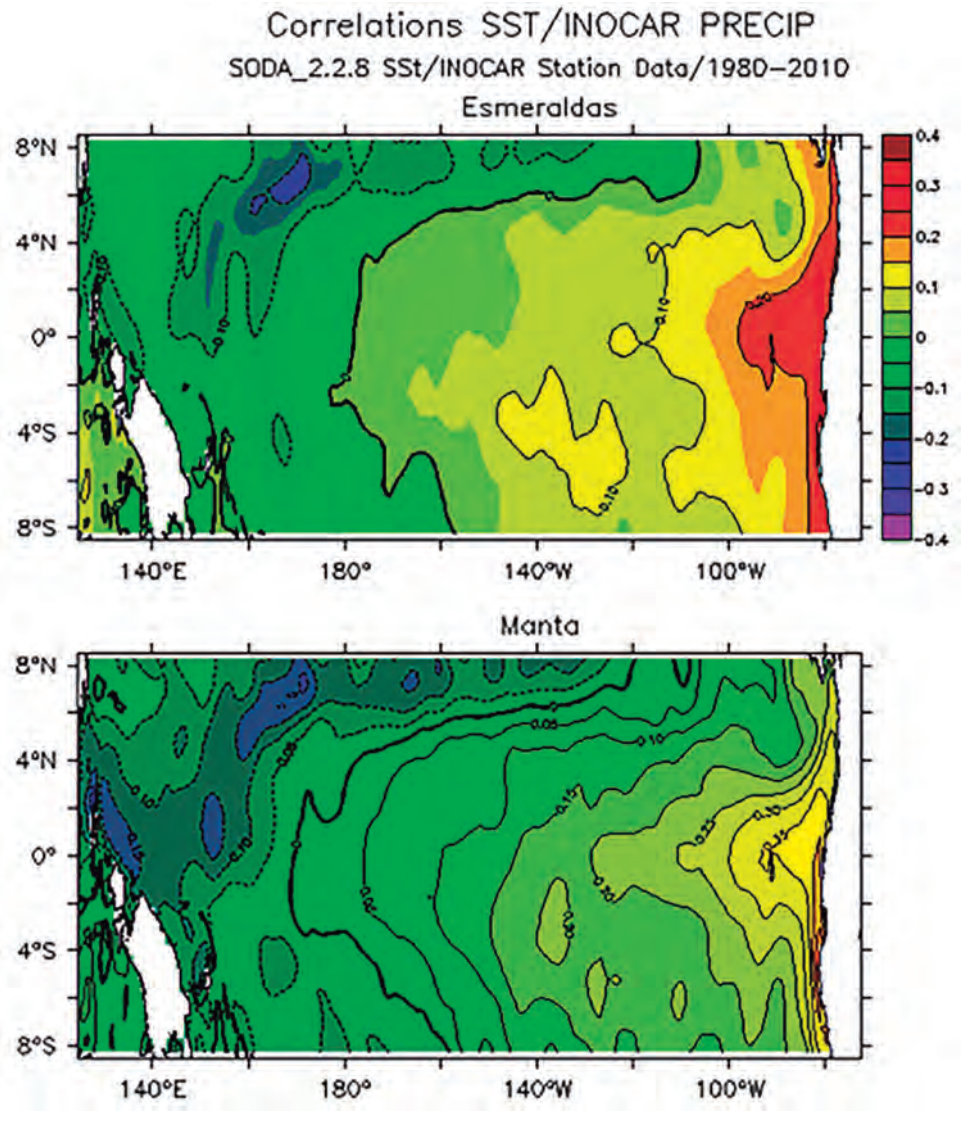



**Figura 1** Correlación de la temperatura superficial del mar de SODA 2.2.8 y la precipitación de Esmeraldas y Manta

Se determinó que las correlaciones entre la temperatura superficial del mar son mayores para la estación de Esmeraldas, mostrando valores de hasta 0.4 de correlación. Esto puede estar relacionado con la precipitación más constante en la estación del norte del litoral el cual recibe un mayor aporte de la zona de convergencia intertropical. Además según Perugachi et al. (2014) la frecuencia de la mayor proporción de varianza de la precipitación en Esmeraldas coincidió con los índices Niño regionales por lo que es clara la influencia de los procesos oceánicos de variabilidad interanual en su serie de datos. Manta por otro lado presenta menor precipitación acumulada y una estacionalidad más marcada por lo que la variabilidad interanual puede no ser determinante en la magnitud de las precipitaciones lo que explicaría el coeficiente de correlación inferior al presentado en Esmeraldas.

En la figura 2 se encuentran graficadas las correlaciones de las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 y la precipitación en el continente, siendo estos dos índices los que linealmente mayor coeficiente presentaron con las estaciones meteorológicas. El índice de la región Niño 1+2 presenta mayores correlaciones en todo el perfil costero en comparación con Niño 3.4, llegando a tener una correlación de hasta 0.6.

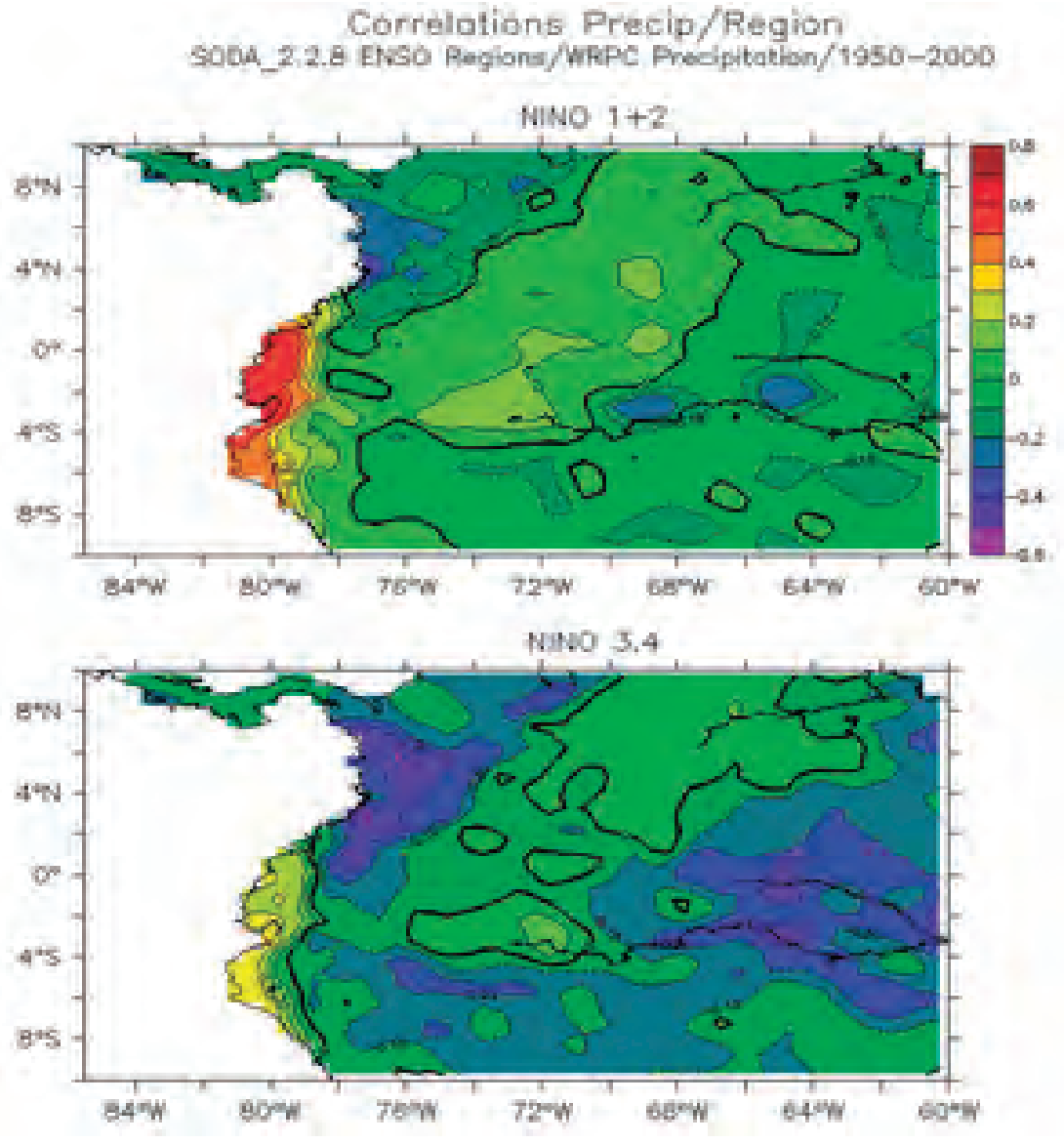



**Figura 2.** Correlaciones entre la precipitación en el continente WRPC y los índices Niño 1+2 y Niño 3.4

Este hallazgo respalda que mientras más cercana sea la región con la que se compare la temperatura superficial del mar, mayor será su correlación. Cabe recalcar que la serie de datos que se toma es de 1950 al 2000 y no incluye los 10 últimos años, lo que hace que incremente la correlación entre estas dos variables. Esto se debe a que en los últimos 10 años no se han dado eventos ENOS cálidos fuertes.

Para analizar la temporalidad de la precipitación y la temperatura superficial del mar se realizaron gráficas de las series de las anomalías de las regiones Niño 4 Niño 3 Niño 3.4 y Niño 1+2, junto con la magnitud y longitud del índice CHI centro de calor y CCI centro de enfriamiento, simultáneamente con la precipitación en las estaciones costeras en dos tipos de eventos categorizados como cálidos y otros dos de tipo frio declarados por el ONI.

En la figura 3 literal a) podemos observar que la magnitud del índice CHI coincide con el inicio y final del evento Niño cálido de 1982-1983, así como el índice Niño de la región 1+2 que muestra dos picos que permanecen durante más meses que la precipitación en las estaciones señaladas. De la misma manera se analizó el evento ENOS de 1997-1998 influyeron la magnitud y la permanencia de las condiciones cálidas.

El evento frío de 1999-2001 tuvo una duración más prolongada. Los índices globales coinciden en los tiempos en los que se presentaron los valores más bajos de la serie. Las figuras de la magnitud y longitud de índice centro de enfriamiento CCI demuestran que la magnitud del evento fue similar a la del 88-99 en su principio. Sin embargo, este se prolonga formando un nuevo pico negativo a inicios del 2000. El Niño 3.4, Niño 4 y la magnitud del CCI señalan que las anomalías negativas más fuertes se dieron en el primer pico negativo a inicios de 1999. Sin embargo, los valores más bajos de precipitación se dieron en el segundo pico a inicios del 2000, el mismo que coincide con la longitud del CCI y del índice Niño 3.

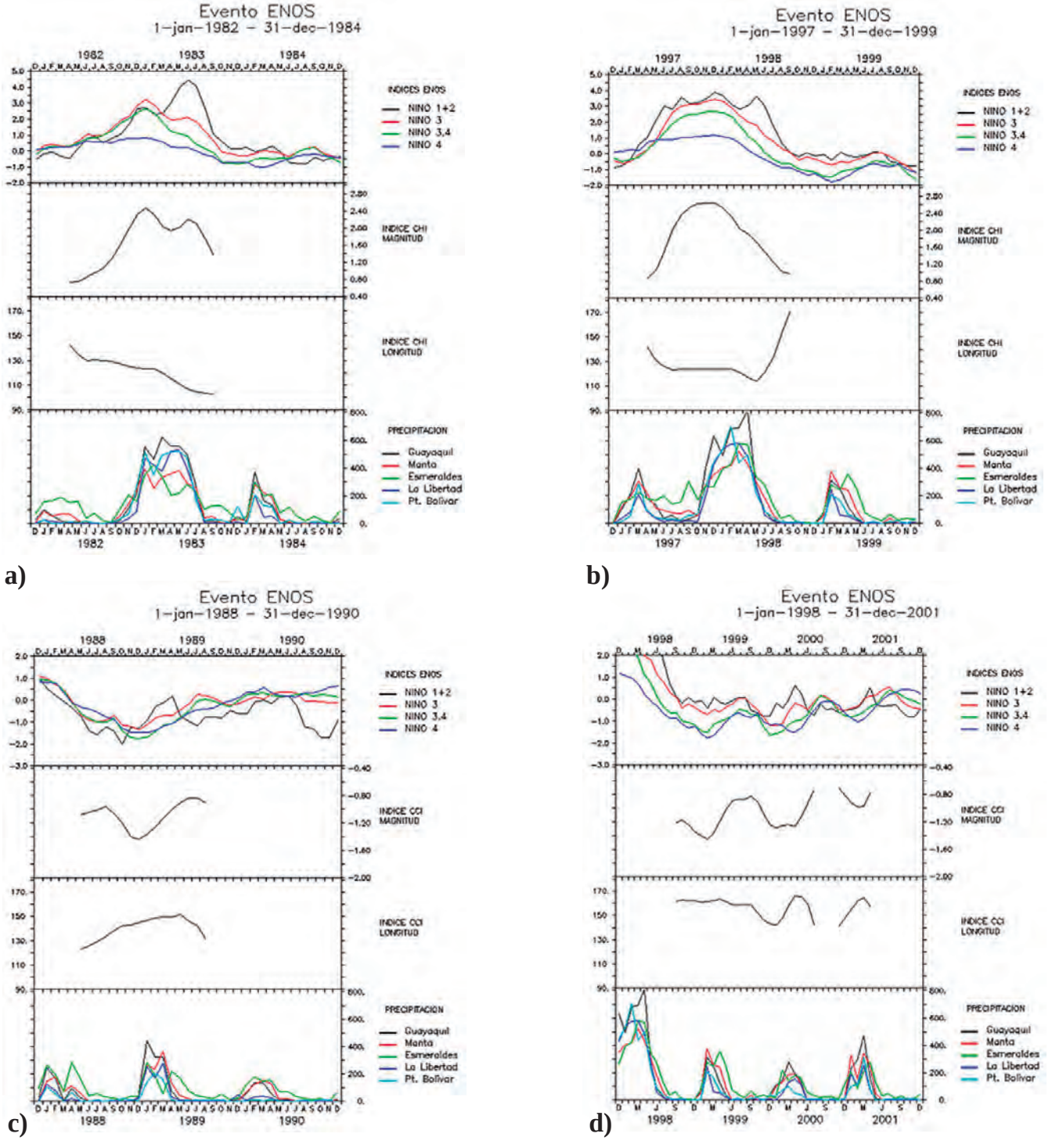



**Figura 3.** Eventos ENOS cálidos a) y b) y fríos c) y d) más fuertes en los últimos 30 años.

La longitud de CHI muestra el área o la ubicación donde se concentra la anomalía de calor.

## ÍNDICE LOCAL BASADO EN UN ÁREA

Teniendo en cuenta que la temperatura superficial del mar influye en el régimen de precipitaciones se procedió a la identificación del área del Océano Pacífico que mayor relación muestre con la precipitación en la región Costa ecuatoriana. Está área fue representada en un índice discontinuo. Tomando como referencia el índice centro de calor CHI y centro de enfriamiento CCI, se generó un nuevo índice basado en un área en el presente trabajo, formando una serie que combina la amplitud de ambos índices en uno solo.

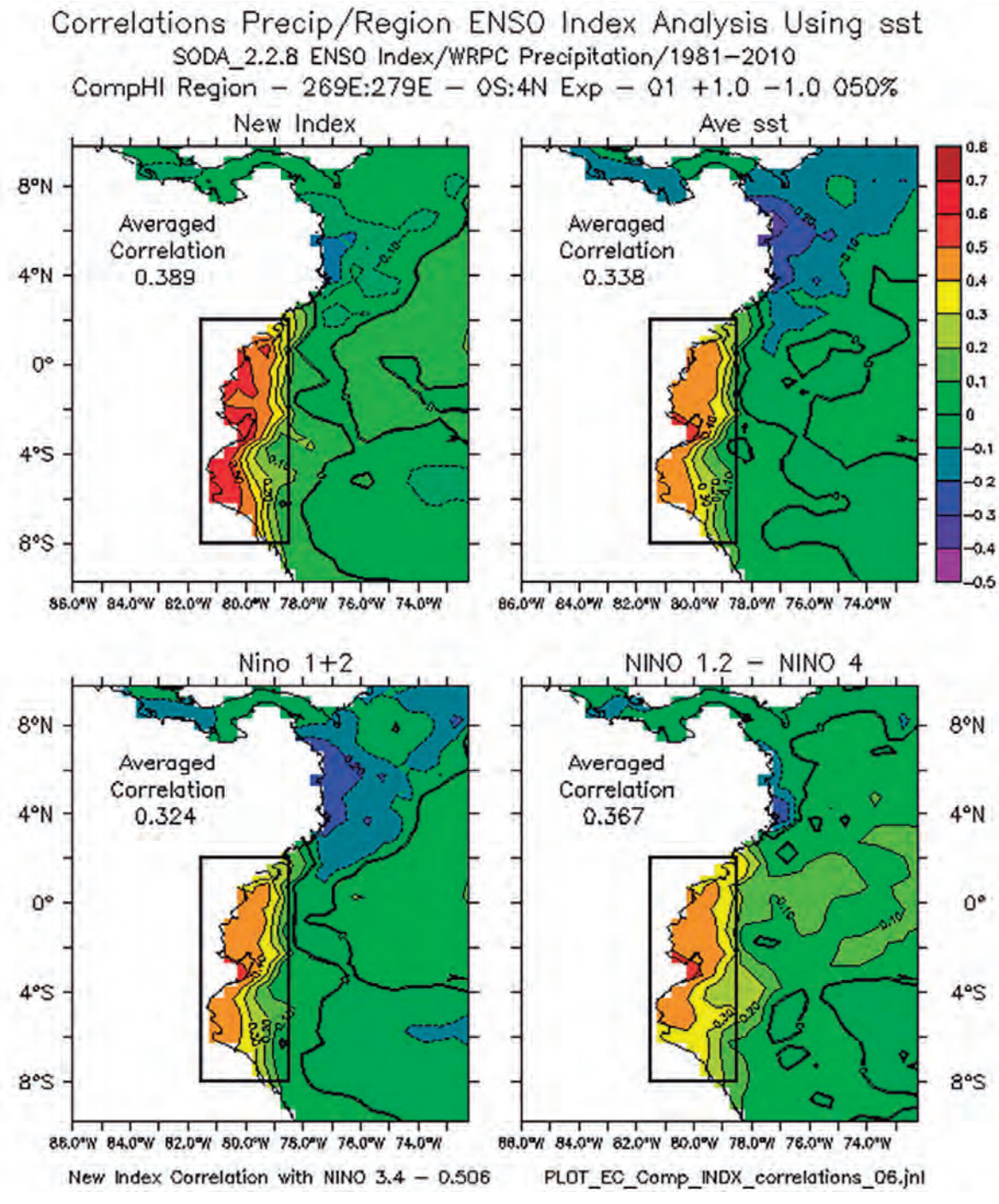



**Figura 4.** Correlación de la temperatura superficial del mar de SODA 2.2.8 y la precipitación de Esmeraldas

Se realizaron ejercicios para encontrar la zona del océano Pacífico ecuatorial que mejor se correlacione con la precipitación del litoral ecuatoriano en los años 1981-2010. Se hicieron corridas con diferentes regiones hasta encontrar aquella en la que mejor se represente la precipitación de la zona de estudio. Con la misma se obtuvo una serie de tiempo mensual discontinua que representa los valores superiores e inferiores a 1 en el 50 % de la región de estudio desde 1981-2010.

El área que mejor correlación presentó con la región del litoral ecuatoriano y el norte de Perú, delimitada en la figura 4, fue 91W-81W: 0S-4N. Esta región no fue la mayor correlación en comparación con toda la región, pero la que mejores correlaciones presenta con el Norte y Sur del Litoral.

La serie que se obtuvo señala únicamente los meses en los que el 50% de la temperatura superficial de la región establecida sobrepasa el límite superior e inferior que define la mejor correlación con la precipitación en el litoral ecuatoriano y a su vez la incidencia de la temperatura superficial del mar en la ocurrencia de eventos ENOS. Este umbral de clasificación fue de una unidad en anomalías de temperatura superficial del mar.

En la figura 4 se puede observar la correlación promedio de la serie de precipitación en el litoral con la serie discontinua de temperatura superficial del mar en la esquina superior izquierda; la serie del promedio de la temperatura superficial del mar en la esquina superior derecha; la serie de ATSM de la región Niño 1+2 en la esquina inferior izquierda, al ver el gráfico del recuadro inferior derecho se muestra la correlación del Índice Trans-Niño con la precipitación en el continente. El Índice Trans-Niño corresponde a la diferencia de los índices Niño 1+2 y Niño 3.4 normalizados, este fue desarrollado por Trenberth y Stepaniak (2001) para representar el gradiente de anomalías ENOS de temperatura superficial del mar entre el Pacífico Este y Central.

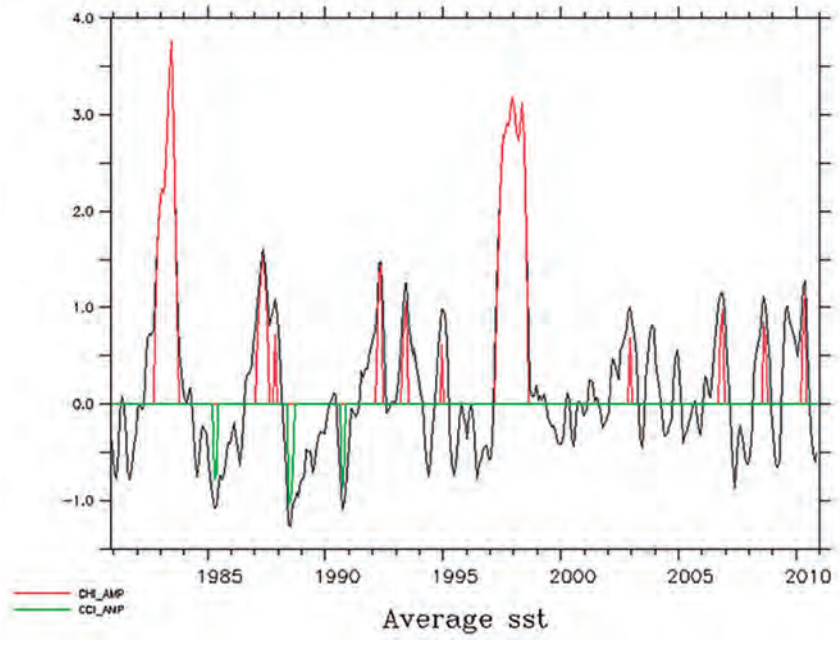



**Figura 5** Anomalíasde temperatura superficial del mar de la región91W-81W: 0S-4N (negro) amplitud CHI(rojo) y amplitud CCI de la misma región (verde) 1981 - 2010

En la figura 4 se puede observar la serie de anomalías del promedio de temperatura superficial del mar de la región determinada y la amplitud positiva y negativa de la serie discontinua obtenida con la metodología antes mencionada. En la misma se puede observar que bajo los límites definidos de una unidad superior e inferior a cero, se han dado mayor cantidad de eventos cálidos en los últimos 30 años y que en la última década no se han registrado eventos fríos fuertes.

El evento frío de 1999-2001 no se encuentra registrado en la serie de tiempo estudiada. Esto enfatiza la importancia del estudio de la permanencia de las condiciones frías/cálidas o ligeramente inferiores o superiores a las normales, ya que estas condicionan el desarrollo de las condicionas atmosféricas.

La prolongación normalmente se debe a la permanencia de las anomalías positivas de TSM debido a la fase cálida del ciclo estacional tal como lo menciona Zambrano et al. (2000). En el caso de la prolongación de los eventos fríos, se supone que estos se deben a la permanencia de la fase fría del ciclo estacional. Sin embargo, estudios indican que después de un evento cálido fuerte la propagación de la energía almacenada hace que ocurran anomalías negativas prolongadas.

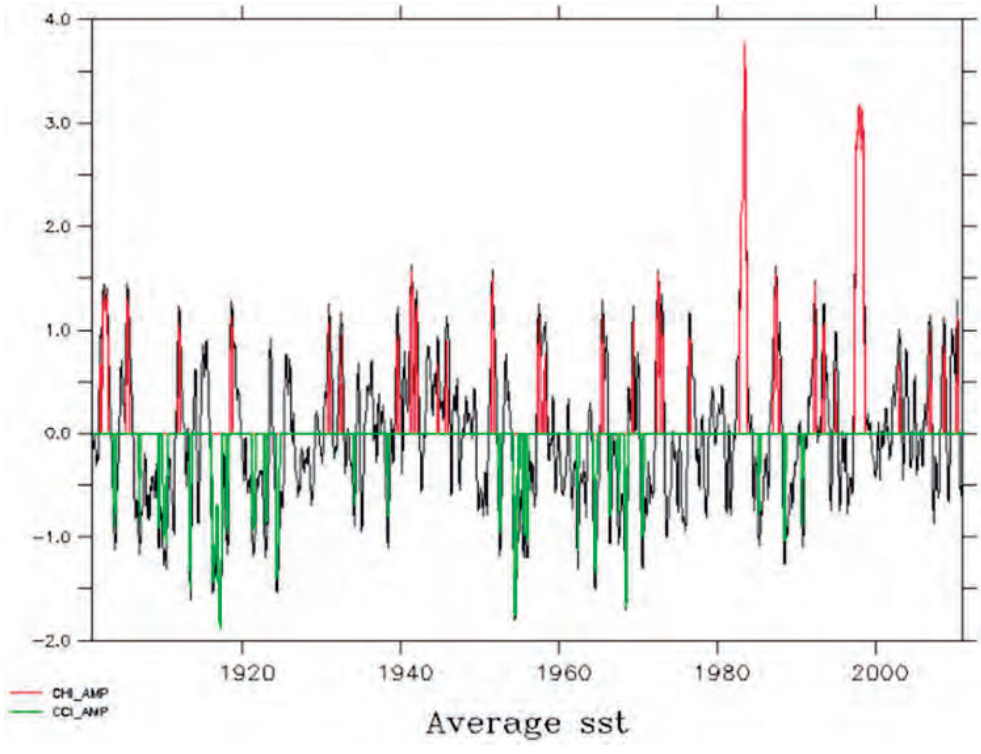



**Figura 6** Anomalías de temperatura superficial del mar de la región 91W-81W: 0S-4N (negro) amplitud CHI(rojo) y amplitud CCI de la misma región (verde) 1900-2010

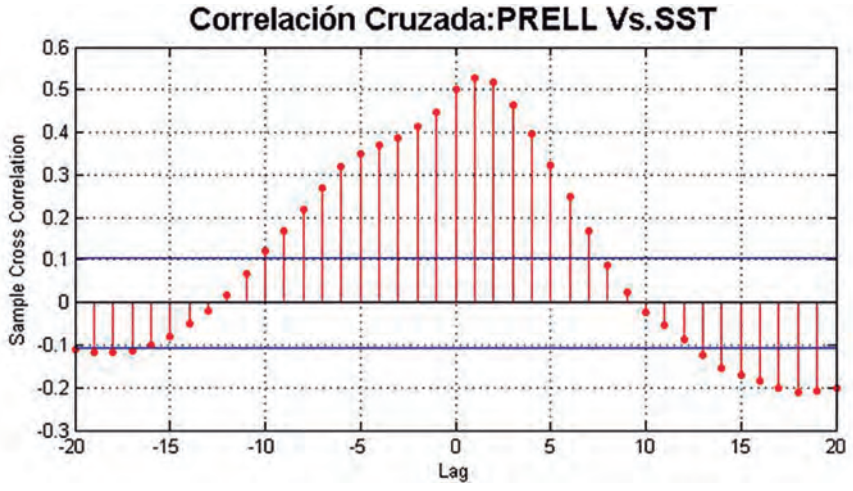
La figura 5 muestra la ocurrencia de eventos cálidos y fríos determinados por la serie discontinua desarrollada con los datos SODA desde 1900 hasta 2010. En la misma se puede observar la variabilidad decadal, debido a que se pueden ver las etapas frías seguidas de cálidas y viceversa. Sin embargo, desde 1980 esta tendencia no es tan clara probablemente a que los mayores eventos cálidos se produjeron en las dos décadas posteriores.

**Tabla 2.** Listado de eventos cálidos y fríos según el índice centro de calor y centro de enfriamiento

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1981 | | | | | | | | | | | | |
| 1982 | | | | | | | | | | | 0,80 | 1,70 |
| 1983 | 2,15 | 2,24 | 2,18 | 2,34 | 2,82 | 3,41 | 3,77 | 3,40 | 2,30 | 1,15 | | |
| 1984 | | | | | | | | | | | | |
| 1985 | | | | | | | | | | | | |
| 1986 | | | | | | | | | | | | |
| 1987 | | | 0,75 | 1,13 | 1,48 | 1,53 | 1,27 | 0,86 | | | | 0,72 |
| 1988 | | | | | | | | | | | | |
| 1989 | | | | | | | | | | | | |
| 1990 | | | | | | | | | | | | |
| 1991 | | | | | | | | | | | | |
| 1992 | | | | 0,77 | 1,33 | 1,43 | | | | | | |
| 1993 | | | | | 0,65 | 0,98 | 1,64 | | | | | |
| 1994 | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | 0,61 | | | | | | | | | | | |
| 1996 | | | | | | | | | | | | |
| 1997 | | | | | 0,98 | 1,82 | 2,49 | 2,79 | 2,76 | 2,99 | 2,89 | 3,20 |
| 1998 | 3,18 | 3,83 | 2,83 | 2,72 | 2,99 | 3,14 | 2,73 | 1,72 | | | | |
| 1999 | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | | | | | | | | | | | | |
| 2001 | | | | | | | | | | | | |
| 2002 | | | | | | | | | | | | |
| 2003 | 0,68 | | | | | | | | | | | |
| 2004 | | | | | | | | | | | | |
| 2005 | | | | | | | | | | | | |
| 2006 | | | | | | | | | | | 0,77 | 0,99 |
| 2007 | | | | | | | | | | | | |
| 2008 | | | | | | | | | 0,84 | 0,68 | | |
| 2009 | | | | | | | | | | | | |
| 2010 | | | | | 0,95 | 1,13 | | | | | | |

| Años | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1981 | | | | | | | | | | | | |
| 1982 | | | | | | | | | | | | |
| 1983 | | | | | | | | | | | | |
| 1984 | | | | | | | | | | | | |
| 1985 | | | | | -0,77 | -0,74 | | | | | | |
| 1986 | | | | | | | | | | | | |
| 1987 | | | | | | | | | | | | |
| 1988 | | | | | | | -1,35 | -1,17 | -0,79 | | | |
| 1989 | | | | | | | | | | | | |
| 1990 | | | | | | | | | | -0,88 | -0,85 | |
| 1991 | | | | | | | | | | | | |
| 1992 | | | | | | | | | | | | |
| 1993 | | | | | | | | | | | | |
| 1994 | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | | | | | | | | | | | | |
| 1996 | | | | | | | | | | | | |
| 1997 | | | | | | | | | | | | |
| 1998 | | | | | | | | | | | | |
| 1999 | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | | | | | | | | | | | | |
| 2001 | | | | | | | | | | | | |
| 2002 | | | | | | | | | | | | |
| 2003 | | | | | | | | | | | | |
| 2004 | | | | | | | | | | | | |
| 2005 | | | | | | | | | | | | |
| 2006 | | | | | | | | | | | | |
| 2007 | | | | | | | | | | | | |
| 2008 | | | | | | | | | | | | |
| 2009 | | | | | | | | | | | | |
| 2010 | | | | | | | | | | | | |

Uno de los posibles usos del índice basado en un área generado es su utilidad como variable predictora para la predicción de eventos ENOS. Esta posibilidad se evidenció realizando una correlación cruzada con la precipitación de las estaciones costeras del INOCAR. La precipitación de la estación de Esmeraldas cercana al 0.5 con un mes de retardo con la anomalía de la temperatura superficial promedio de la región estudiada. La identificación de un retardo es importante para los pronósticos. Sin embargo, la precipitación de las estaciones de La Libertad, Manta, Puerto Bolívar y Puerto Ayora presentaron un adelanto de un mes con respecto a las anomalías de temperatura de la región de estudio, las mismas que estuvieron cercanas a un coeficiente de 0.6. Lo que nos indica que la señal llega después a la localidad de Esmeraldas. Hay que tener en cuenta que las condiciones en el norte del Litoral son diferentes a las del resto del país, por tanto siempre existirán diferencias entre la precipitación de las estaciones.



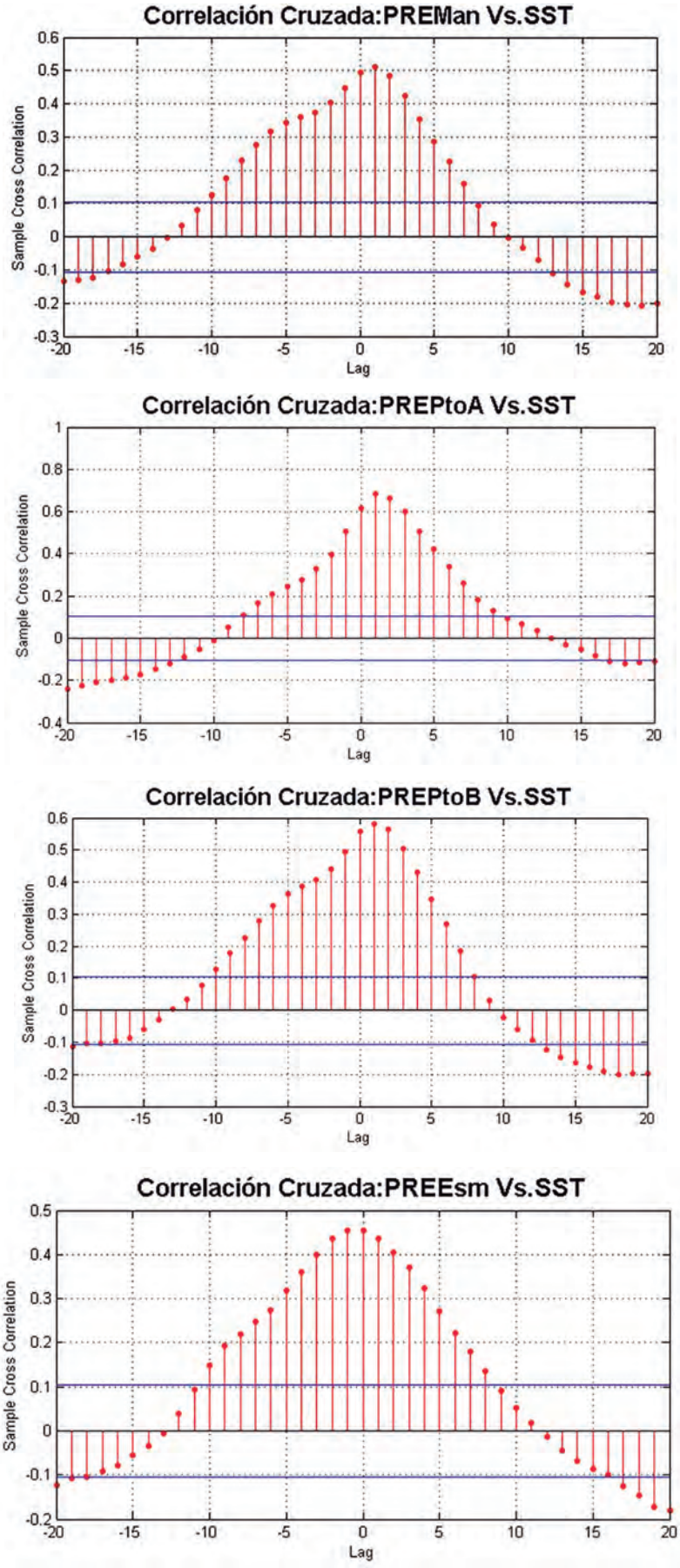



**Figura 8** Correlación cruzada entre precipitación en la estación de La Libertad, Manta, Puerto Ayora, Puerto Bolívar,Esmeraldas y las anomalías de temperatura superficial del mar de la región 91W-81W: 0S-4N

## CONCLUSIONES

A través de la comparación de las precipitaciones de las estaciones costeras más importantes con los índices de las regiones Niño 1+2, 3, 4, 3.4 y CHI, se pudo observar una mayor correlación con el índice de la región Niño 1+2.

Se identificó el área en que el 50% de anomalías de temperatura superficial del mar (SODA 2.2.8), superiores o inferiores a una unidad tienen mayor correlación con la precipitación (WRCP GCOS GPCC) en el perfil costero Ecuatoriano y el Norte de Perú. Esta área correspondió a la región 91W-80W: 4N-0S. La misma cuya serie de amplitud de anomalías de temperatura superficial del mar superiores e inferiores a una unidad presentaron una correlación promedio de 0.389 con la zona del litoral ecuatoriano y norte de Perú.

Los resultados de la serie de tiempo de la región antes mencionada identifican únicamente la magnitud en que las anomalías cálidas y frías influyen en la precipitación.

La serie de anomalías de TSM de la región estudiada mostró correlaciones desde 0.4 a 0.7 con la precipitación de las estaciones costeras presentando un retardo de un mes con la estación de Esmeraldas y un desfase positivo con las estaciones de Libertad , Manta, Puerto Bolívar y Puerto Ayora, la misma que registro la mayor correlación.

## REFERENCIAS

Dai, A. &Wigley, M. l. (2000) Global patterns of ENSO-inducedprecipitation. Geophysicalresearchletters, 27, 9, 1283-1286.

Giese, b. &Ray, S. (2011) El Niño variability in simple ocean data assimilation (SODA), 1871-2008. Journal of geophysicalresearch, 116, C02024.

Hernández, F. & Zambrano, E. (2009) Relación entre la temperatura superficial del mar del océano Pacífico Oriental y las precipitaciones en la costa del Ecuador. Acta oceanográfica, vol. 15 N° 1.

Kao, H. &Yu, J. (2009) Contrasting Eastern Pacific and Central PacificTypes of ENSO.AmericanMeteorologicalSociety, 22, 615- 632.doi: 10.1175/2008JCLI2309.1

McPhaden, M. J., Lee, T. &McClurg, D. (2011) El Niño and itsrelationshiptochangingbackgroundconditions in the tropical PacificOcean. Geophysicalresearchletters, 38, L15709.

Moreano, H., Zambrano, E., Suescum, R. & Paredes N. (1986) El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Philander, S. G. (1990), El Niño, La Niña, and theDouthernOscillation, 189 pp., AcademicPress, London.

Trenberth, K. &Stepaniak, D. (2001) Indices of El Niño evolution. Journal of climate, 14, 1697-1701.

Zambrano, E. (1986) El fenómeno del Niño y la oscilación del Sur. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Zambrano, E., Martínez, G. & Garcés-Vargas, J. (2000) Variabilidad oceanográfica en Ecuador asociada con el evento ENSO 1997-98. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 10 N° 1.

Lee, T. & McPhaden, M. J. (2010) Increasingintensity of elniño in the central equatorialpacific. Geophysicalresearchletters, 37.

# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL MAR EN LAS ESTACIONES 10 MILLAS COSTA AFUERA DE MANTA Y LA LIBERTAD DE INOCAR, PARA LOS AÑOS 1992-2014.

Mariela González-Narváez [(1)]
Isabel García-Arévalo [(1)]

## *RESUMEN*

*El monitoreo de la temperatura del mar a nivel superficial y subsuperficial es de suma importancia debido a que a través de éste se puede contribuir al estudio de los procesos físicos del océano que afectan las costas ecuatorianas. En el presente estudio se utilizaron los datos de los parámetros oceánicos temperatura superficial del mar en las profundidades estándar monitoreadas con el CTD (Conductivity Temperature Depth), a fin de determinar la pertinencia en el uso de su serie como variables de entrada para la predicción de eventos ENOS. Se realizó un análisis descriptivo de las series de temperatura, obtención de climatología y anomalías, correlaciones cruzadas y análisis de densidad espectral para relacionarlos con los índices Niño regionales. En los dos últimos análisis se identificaron correlaciones positivas con los índices siendo la temperatura a 50 metros la más alta con respecto a la primera componente temporal de las variables estudiadas; así mismo un ciclo de ocurrencia aproximado al de los índices regionales utilizando el periodograma.*

***Palabras Claves:*** *Estaciones fijas, temperatura superficial del mar, control de calidad, ENOS*

## *ABSTRACT*

*The monitoring of the sea surface temperature and subsurface layers is highly important due to its contribution to the study of physical process of the ocean, the same that affects Ecuadorian coast. In this study oceanic parameters such as sea temperature at standard depths measured with the CTD to demonstrate the potential use as input variables to be used in forecast models of ENSO events. This was done by doing a descriptive analysis of the temperature series, obtaining the climatology and anomalies to perform cross correlations and spectral density analysis. In the last two analyses it was identified positive correlations between the temperature and the El Niño indices, registering 50 meter temperature correlation as the highest. Furthermore the cycle of occurrence of the El Niño indices almost matches the ones from the subsurface temperatures using the periodogram hamming.*

***Keywords:*** *Permanent stations, Sea surface temperature, quality control, ENOS*

[1] Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

## INTRODUCCIÓN

El monitoreo de la temperatura del mar a nivel superficial y sub-superficial 10 millas costa afuera es de gran importancia debido a que a través de este se puede contribuir al estudio de los procesos físicos del océano que afectan las costas ecuatorianas, siendo un aporte a la investigación de los procesos internos en las capas oceánicas, la hidroacústica, dinámica poblacional y desplazamiento de sustancias contaminantes en el Océano; así como en los procesos de interacción océano-atmosfera como los eventos El Niño Oscilación del Sur (Zambrano, 2009).

Estos eventos son productos del desplazamiento de una masa de agua caliente desde el Pacífico Oeste hasta el Pacífico Este. Las ondas Kelvin son las responsables de este transporte desde el Pacífico occidental hacia el oriental y a las mismas se le atribuye el origen de las condiciones anómalas propias del Niño (Zambrano et al., 1986).Durante los eventos ENOS fuertes pasados la propagación de la onda ha generado intensas anomalías de temperatura superficial del aire y del mar (Zambrano, 1986). Estos eventos se han caracterizado por calentamiento subsuperficial, el mismo que produce niveles anómalos de profundización de las isotermas (Zambrano et al, 2000); debido a que las señales de calentamiento o enfriamiento del trópico están ampliamente confinadas sobre unos cuantos cientos de metros en la columna de agua (Willis et al., 2004). De ahí la importancia de monitorear la temperatura del mar en la columna del agua.

El objetivo principal del presente estudio es relacionar el comportamiento de la temperatura del mar con la ocurrencia de eventos de variabilidad interanual como el estudio de los eventos El Niño Oscilación del Sur., evaluando su potencial predictivo para determinar el curso de un evento ENOS (McPhaden, 2003)

## DATOS Y MÉTODOS

Para este análisis la data usada proviene de las estaciones fijas del Instituto Oceanográfico de la Armada, las mismas que se detallan en la Tabla 1 con sus respectivas ubicaciones geográficas:

**Tabla 1** Ubicaciones geográficas de las estaciones 10 millas de monitoreo INOCAR y coordenadas SODA

| Estaciones Costeras | | | |
|---|---|---|---|
| **Lugar** | **Fuente** | **Latitud** | **Longitud** |
| Manta | CTD | 00°52´47.994" S | 80°49´47.994W |
| Libertad | CTD | 02°04´48"S | 81°05´24"W |
| Manta | SODA | 00°45´00" S | 80°45´00W |
| Libertad | SODA | 02°15´00"S | 81°45´00"W |

Los datos obtenidos de las mediciones 10 millas costa afuera son tomados con un CTD (Conductivity Temperature Depth) que mide conductividad, temperatura, y presión entre sus parámetros principales. Los parámetros oceanográficos utilizados en este estudio corresponden a la temperatura del mar a diferentes profundidades estándar (0-10, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100).

Para estimar los valores detectados como anómalos y los datos faltantes presentes en la serie de datos para las estaciones de Manta y La Libertad, se empleó el método de interpolación P C H I P – Piecewise Cubic Hermite Interpolating Polynomia , éste es un método de interpolación que preserva la monotonicidad y forma que presentan los datos; se caracteriza por enlazar cada par de puntos conocidos mediante un polinomio cúbico diferente. Este método es empleado en series que presentan un comportamiento curvilíneo, como es el caso del parámetro Temperatura del Mar, figura 1 izquierda.

Se interpolaron las series de cada una de las profundidades estándar de cada estación. En promedio por cada profundidad de cada estación se interpoló el 30% de los datos, figura 1 derecha.

Para determinar si el método de interpolación empleado era el adecuado manteniendo el

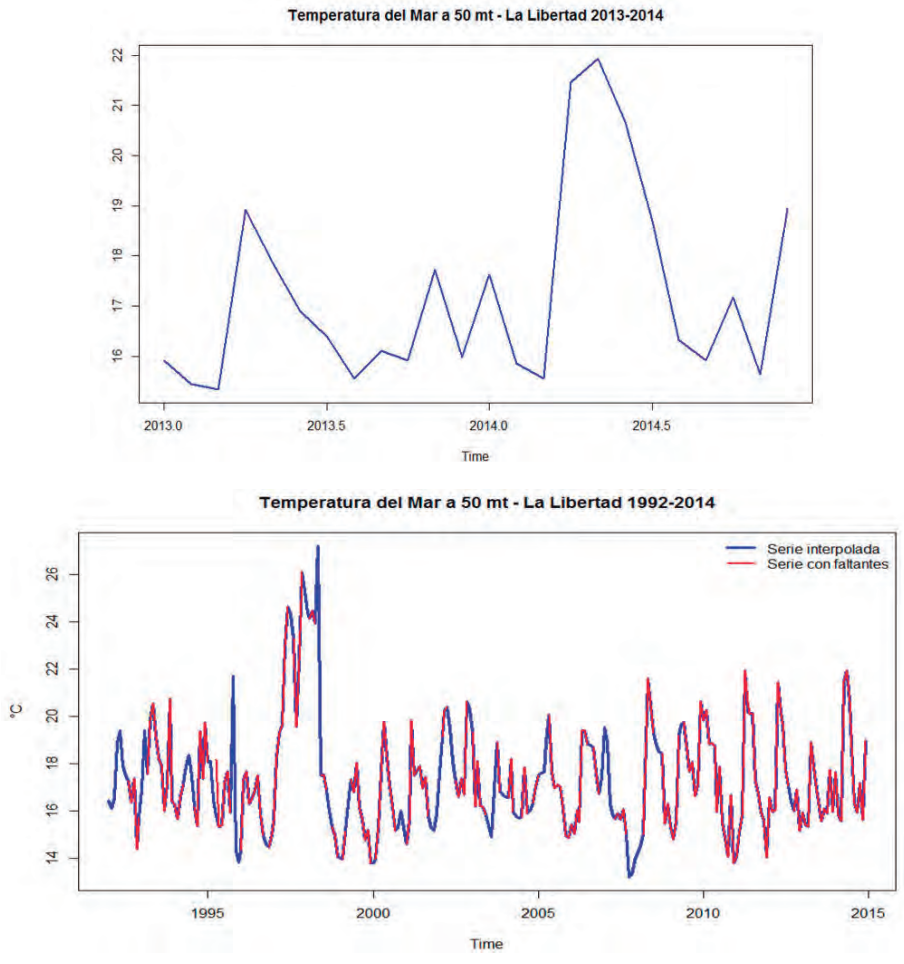



**Figura 1** Serie mensual de la temperatura del mar en la estación La Libertad, para los años 2013-2014 (izquierda) y serie final interpolada 1992-2014 (derecha).

comportamiento natural de la serie de datos y para detectar si existen cambios en la serie al identificar aquellos años cuyo valor de temperatura es diferente al patrón, se empleó la herramienta de control de procesos denominada Cartas de Control. Se emplearon los gráficos de control de Shewhart para determinar cuanta variación se puede esperar que ocurra alrededor del valor objetivo central T, se fijan bandas de confianza - bandas de control de $T \pm 3\sigma$,que son líneas que representan límites de un 99% de confianza.

Se realizaron las cartas para la Media-Rango en la que se grafica el valor de la temperatura

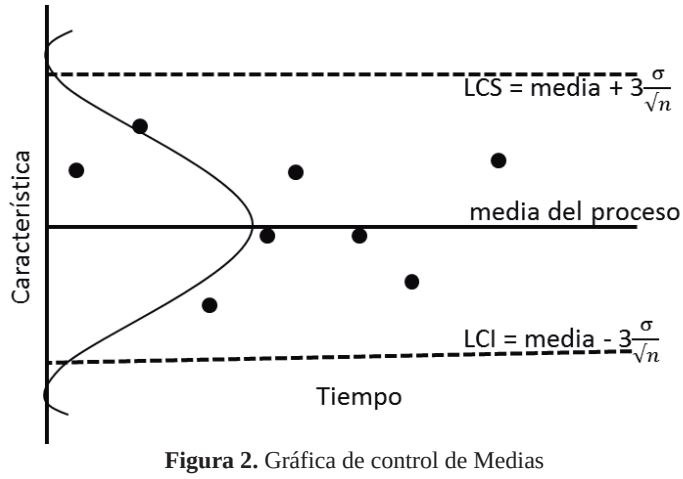



**Figura 2.** Gráfica de control de Medias

promedio anual. Adicionalmente se realizaron y graficaron las correlaciones cruzadas entre la temperatura a profundidades estándar y los índices Niño regionales. Seguido del análisis de densidad espectral, con el cual se graficaron periodogramas de ventaneo haming para cada profundidad y poder compararlas con los ciclos de ocurrencia de los eventos ENOS (Emery& Thomson, 2004; Matlab, 2013).

## RESULTADOS

### Análisis exploratorio de los datos

Las profundidades estándar más superficiales consideradas desde los 0 a 20 m se caracterizan por contener los más altos valores de temperatura registrados en la columna de agua, así como la temperatura promedio más elevada. Las profundidades sub-superficiales entre los 30 a 50 m.son las que presentan los valores de

**Tabla 2** Estadística descriptiva por profundidades estándar según la estación

| Estación por profundidad | | Estadísticos Descriptivos | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mínimo | Máximo | Rango | Mediana | Media | SE. Media | CI. Media 95% | Varianza | Desv. Estándar | Coef. Variación | Sesgo | Kurtosis |
| La Libertad | 0 a 10 mt | 17,15 | 28,91 | 11,76 | 23,65 | 23,72 | 0,12 | 0,23 | 3,70 | 1,92 | 0,08 | -0,21 | 0,93 |
| | 10 mt | 18,10 | 29,07 | 10,97 | 24,07 | 24,17 | 0,11 | 0,21 | 3,09 | 1,76 | 0,07 | 0,02 | 0,66 |
| | 20 mt | 15,50 | 28,92 | 13,42 | 22,05 | 21,91 | 0,14 | 0,28 | 5,76 | 2,40 | 0,11 | 0,11 | 0,24 |
| | 30 mt | 14,49 | 28,88 | 14,39 | 19,58 | 19,91 | 0,16 | 0,32 | 7,12 | 2,67 | 0,13 | 0,65 | 0,42 |
| | 40 mt | 14,08 | 28,84 | 14,77 | 17,80 | 18,39 | 0,16 | 0,31 | 6,87 | 2,62 | 0,14 | 1,04 | 1,50 |
| | 50 mt | 13,20 | 27,20 | 14,00 | 16,90 | 17,34 | 0,14 | 0,28 | 5,69 | 2,39 | 0,14 | 1,22 | 2,05 |
| | 75 mt | 12,60 | 24,39 | 11,79 | 15,80 | 16,14 | 0,11 | 0,22 | 3,51 | 1,87 | 0,12 | 1,41 | 3,22 |
| | 100 mt | 9,82 | 22,80 | 12,98 | 15,00 | 15,13 | 0,10 | 0,20 | 2,98 | 1,73 | 0,11 | 0,85 | 3,31 |
| Manta | 0 a 10 mt | 21,12 | 31,00 | 9,88 | 25,12 | 25,24 | 0,08 | 0,17 | 1,97 | 1,40 | 0,06 | 0,38 | 1,27 |
| | 10 mt | 19,19 | 29,10 | 9,91 | 24,92 | 24,95 | 0,09 | 0,18 | 2,19 | 1,48 | 0,06 | -0,12 | 1,11 |
| | 20 mt | 17,00 | 29,05 | 12,05 | 23,86 | 23,63 | 0,12 | 0,24 | 4,19 | 2,05 | 0,09 | -0,66 | 1,02 |
| | 30 mt | 15,86 | 27,96 | 12,10 | 21,72 | 21,48 | 0,16 | 0,31 | 6,81 | 2,61 | 0,12 | -0,09 | -0,55 |
| | 40 mt | 13,83 | 27,71 | 13,88 | 18,80 | 19,13 | 0,16 | 0,32 | 7,44 | 2,73 | 0,14 | 0,60 | -0,01 |
| | 50 mt | 13,49 | 26,37 | 12,88 | 17,10 | 17,72 | 0,15 | 0,29 | 6,09 | 2,47 | 0,14 | 1,15 | 1,31 |
| | 75 mt | 13,39 | 23,98 | 10,59 | 15,93 | 16,42 | 0,12 | 0,23 | 3,72 | 1,93 | 0,12 | 1,59 | 3,27 |
| | 100 mt | 11,30 | 23,40 | 12,10 | 15,30 | 15,56 | 0,10 | 0,20 | 2,78 | 1,67 | 0,11 | 1,84 | 5,11 |

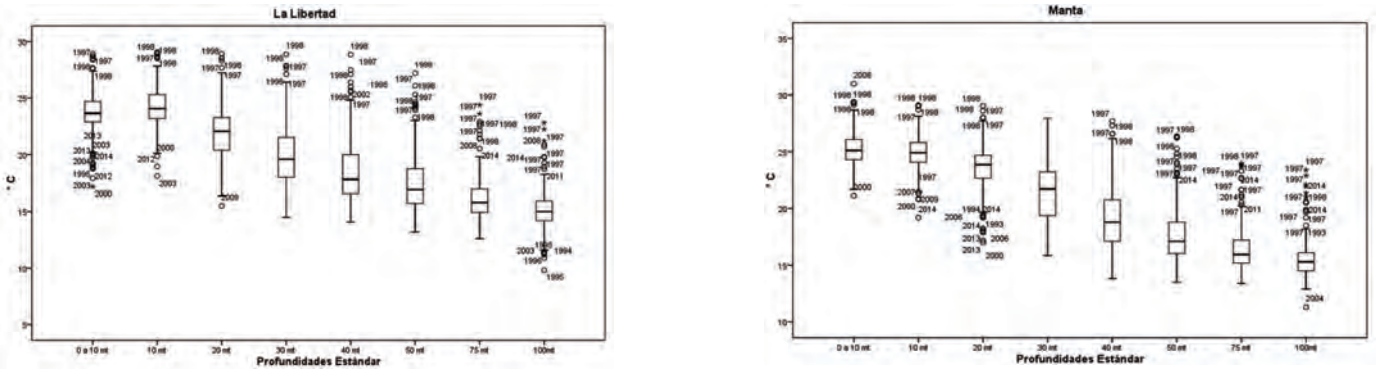



**Figura 3.** Gráfico Boxplot de la temperatura por profundidad estándar.

rango y variabilidad mayor con respecto a las demás, así como un intervalo de confianza con un nivel de significancia del 0.05 de mayor amplitud con respecto a las otras profundidades.

La distribución de los datos en profundidades desde los 75 a 100 m demuestran ser más asimétricas al tener un mayor sesgo positivo, además presentan una forma leptocúrticacon valores de kurtosis superiores a 3 lo que se evidencia al observar que tienen una distribución más puntiaguda y que sus colas se extienden más que el de una distribución normal estándar, ver figura 4.

El análisis del boxplot se caracteriza por detectar la presencia de datos considerados como anómalos dentro del grupo. Al emplear

esta técnica estadística se puede observar que identifica los valores de la temperatura que se registraron en el año 1997-1998 como datos que están fuera del patrón de la serie, como se puede observar en la figura 3 y como lo indica también las cartas de control figura 5 y 6.

## GRÁFICAS DE CONTROL

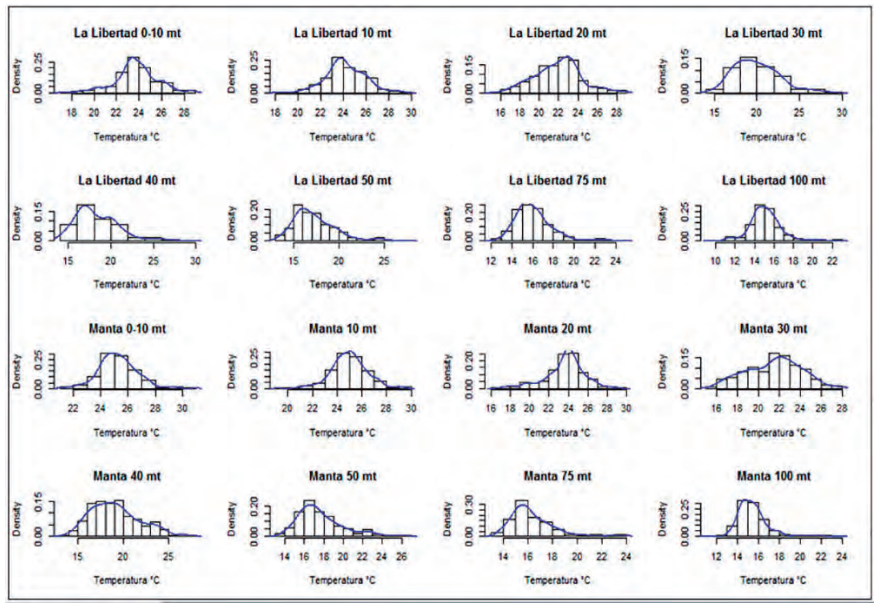
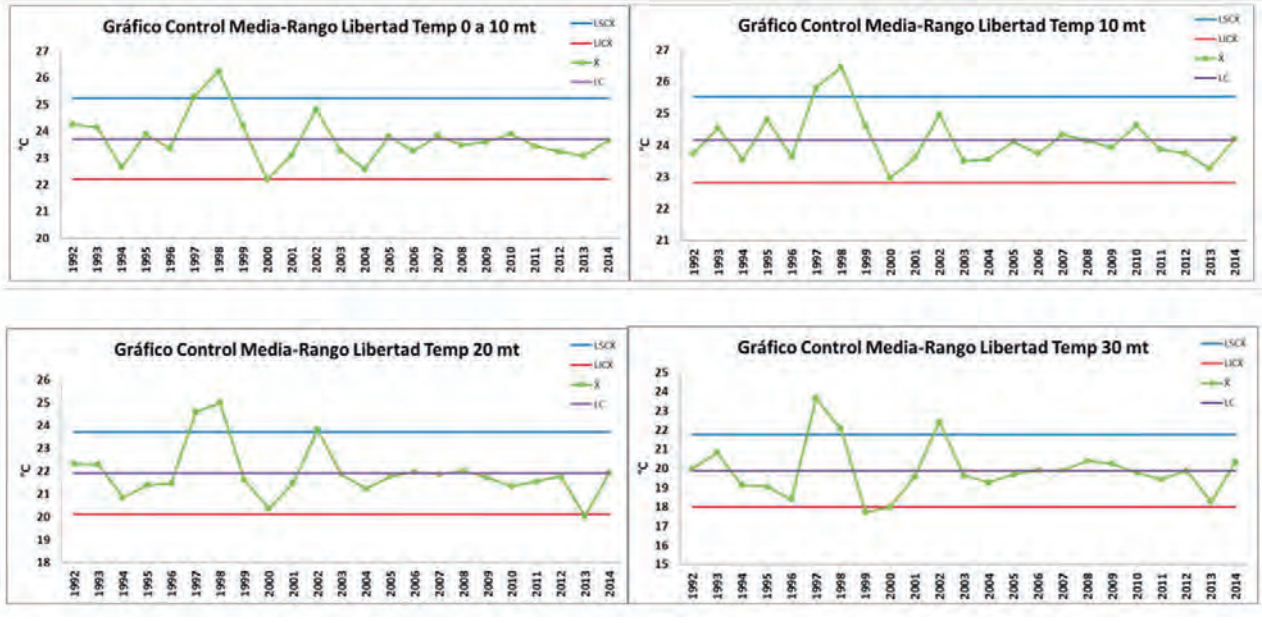



**Figura 4** Gráfico de histograma y aproximación a la distribución normal

En la figura 5 al observar los gráficos de control para La Libertad, se observa que los años cuyas mediciones de temperatura exceden las líneas de control superior e inferior son las mediciones correspondientes a los años 1997, 1998, 1999, 2002, años considerados como eventos Niños y Niñas de gran magnitud y permanencia según el Oceanic Niño Index – ONI.

Se observan mediciones que se posicionan sobre las bandas de confianza como es el caso



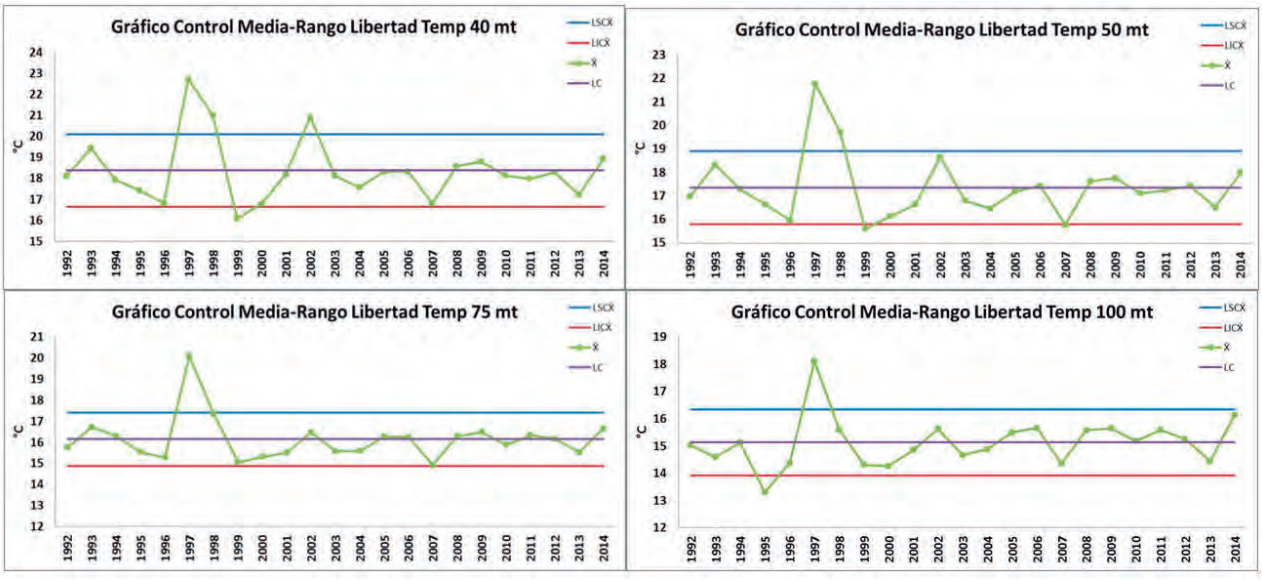
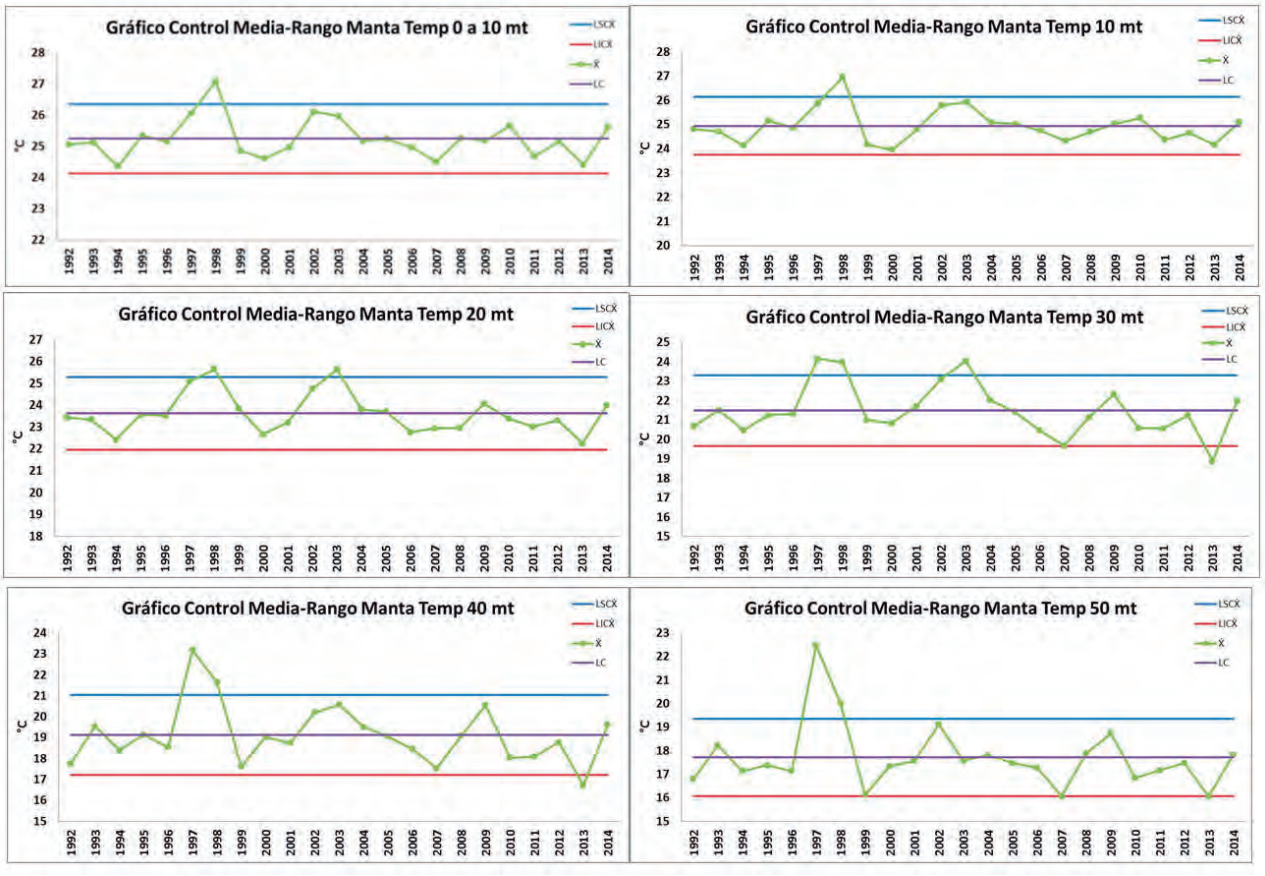



**Figura5.** Gráficas de control de la temperatura en las profundidades estándar de Libertad

de los años 1996, 2000, 2007, 2013 considerados como años en que acontecieron eventos ENOS, sean estos de condiciones cálidas o frías según el ONI y se evidencia de igual modo con lo ocurrido en el perfil costero. Para el caso de la estación de Manta figura 6, se tiene un comportamiento similar al observado en la Libertad; en ambas estaciones se observa que es a la profundidad de 50 m donde se hacen evidentes los eventos ENOS considerados relevantes en los últimos 20 años.

## ANOMALÍAS



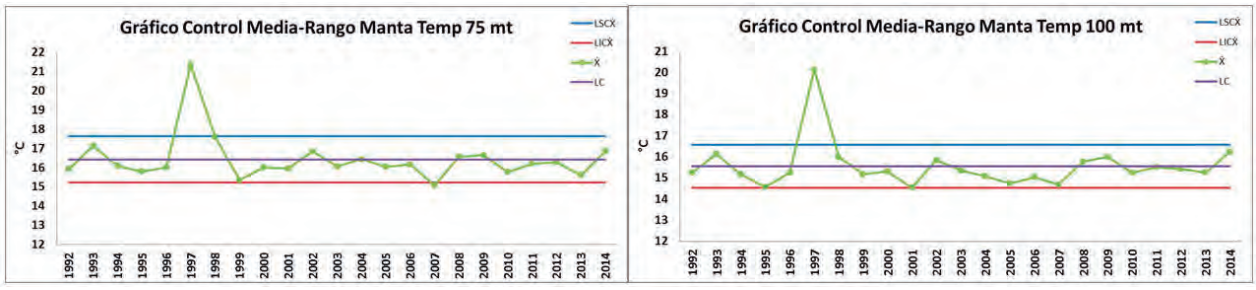



**Figura 6.** Gráficas de control de la temperatura en las profundidades estándar de Manta

La serie de diez millas inicia en el año 1992, de la que se obtiene la climatología correspondiente a los últimos 23 años; para la obtención de las anomalías de la temperatura para cada profundidad estándar de cada estación, se procede a estandarizar la variable con la finalidad de aproximar la serie de datos a una distribución normal que esté centrada en un punto en común y reducir la variabilidad presente en los datos y de esta manera poder comparar la incidencia de la temperatura entre las dos estaciones.

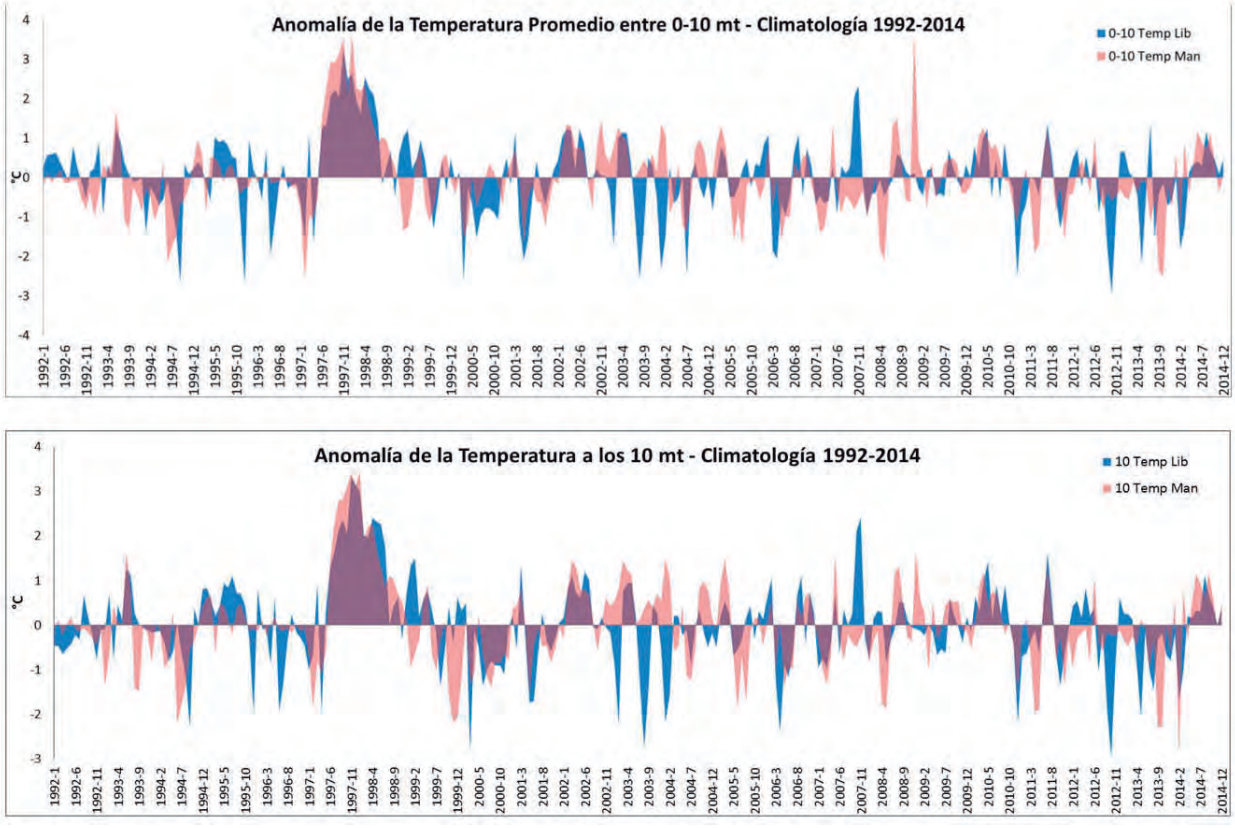
Se estandariza cada valor restando su respectiva media mensual (normal de los últimos 23 años) y se divide para su respectiva desviación estándar del mes

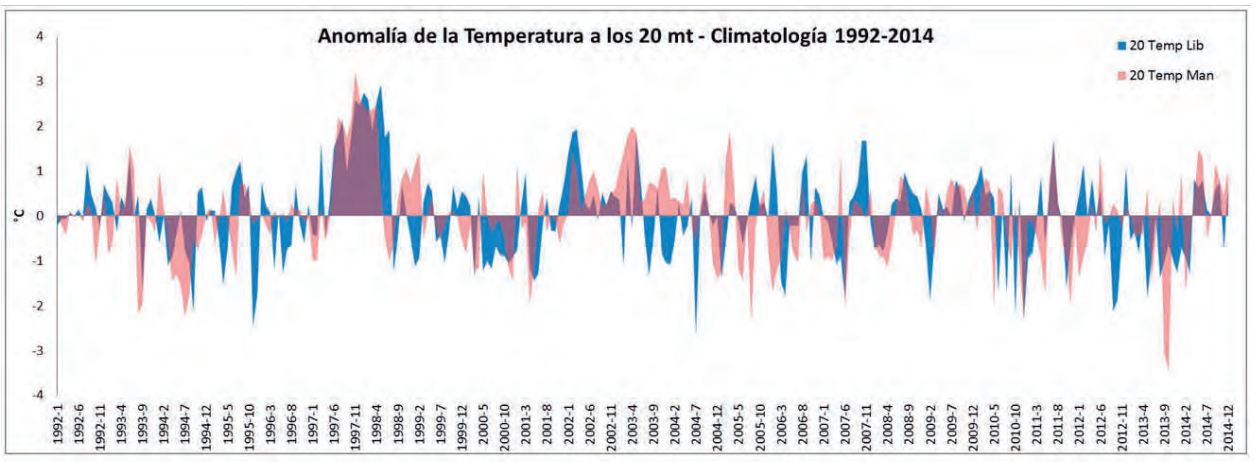
Cada una de las variables mencionadas registra

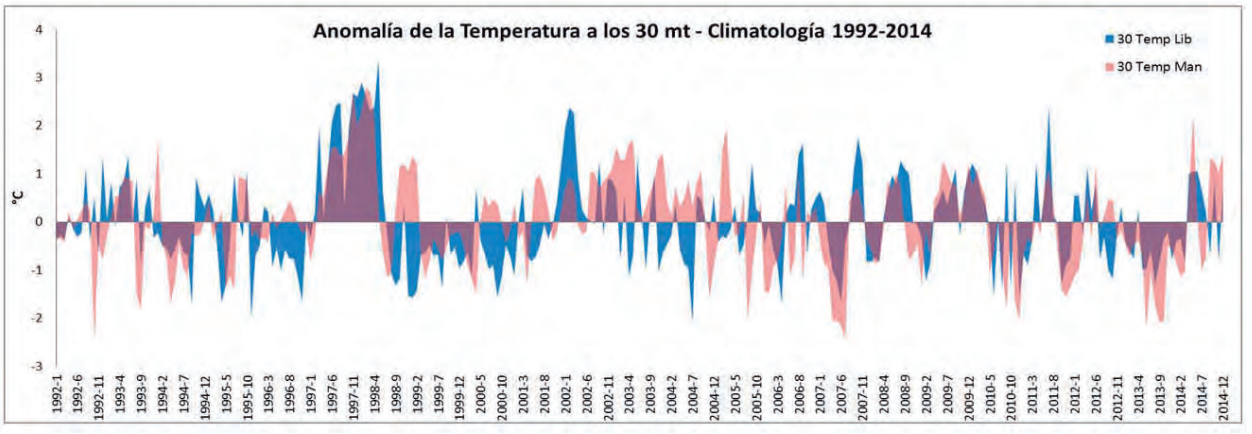
$$Z_i = \frac{x_i \ \mu_i}{\sigma_i}$$ **; siendo i<=12 el mes analizado**

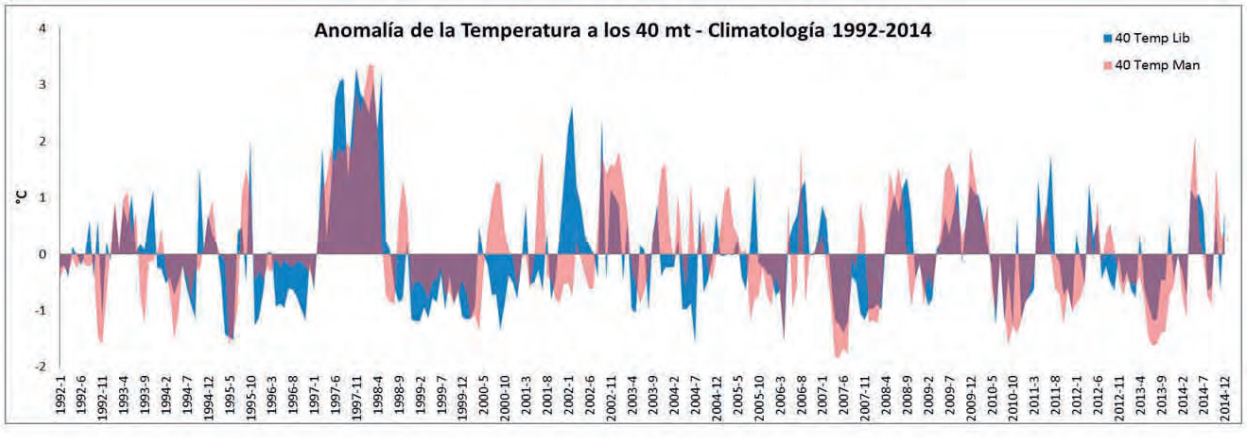
valores anómalos en los años en que acontecieron eventos ENOS, sean estas condiciones cálidas o frías en el perfil costero.

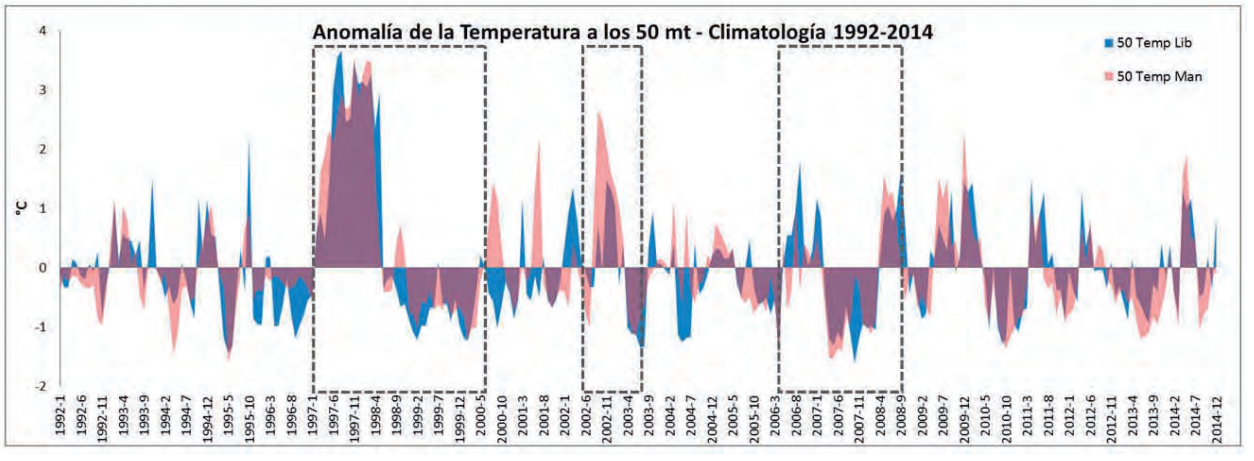
En la figura 7, el diagrama de las anomalías




Anomalía de la Temperatura a los 20 mt - Climatología 1992-2014
20 Temp Lib
20 Temp Man
°C


Anomalía de la Temperatura a los 30 mt - Climatología 1992-2014
30 Temp Lib
30 Temp Man
°C


Anomalía de la Temperatura a los 40 mt - Climatología 1992-2014
40 Temp Lib
40 Temp Man
°C


Anomalía de la Temperatura a los 50 mt - Climatología 1992-2014
50 Temp Lib
50 Temp Man
°C

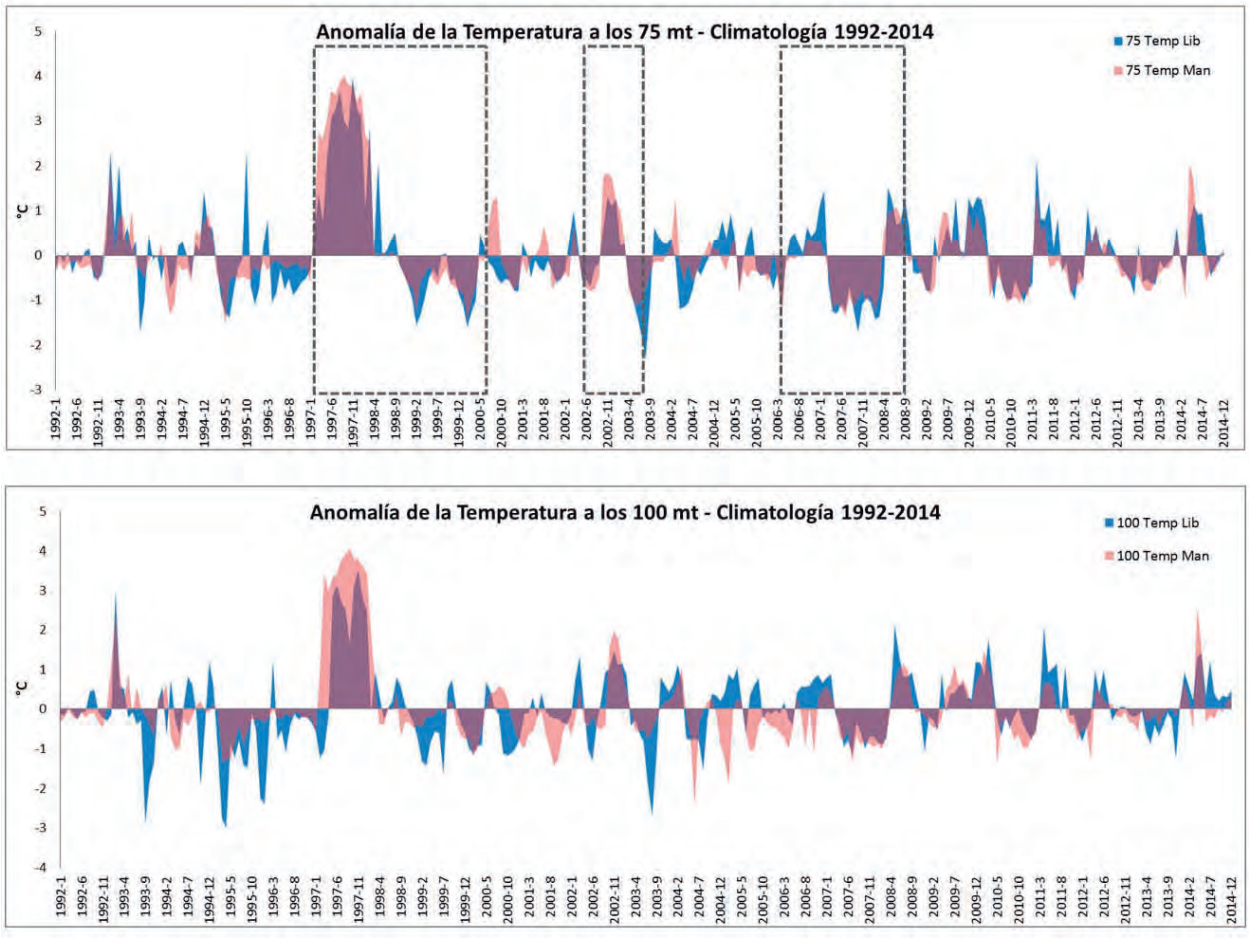



**Figura 7.** Gráfico de anomalías de temperatura en las profundidades estándar.

muestra claramente la variación interanual y se observa con más detalle la magnitud y permanencia de los eventos. Desde el último evento fuerte de 1997-98 se puede observar que la ocurrencia de eventos cálidos ha disminuido y que la periodicidad de eventos cálidos y fríos no se pueden distinguir con claridad, cambiando su ciclo normal de 2-7 años. Se observa que a nivel subsuperficial 50 y 75 m., se identifica de mejor manera la magnitud y permanencia de los eventos que fueron relevantes en el perfil del litoral ecuatoriano como es el caso del ocurrido en el año 1997-1998, se observa una menor oscilación con respecto a las otras profundidades,se puede observar que durante los eventos cálidos es la estación de Manta la que presenta anomalías de mayor amplitud, mientras que para eventos fríos lo refleja la estación de La Libertad.

A diferencia de los eventos cálidos, los eventos fríos parecen haber aumentado su frecuencia en los últimos 10 años.

Se evidenció la existencia de una alta relación lineal con un nivel de significancia de 0.01 entre las anomalías estandarizadas de la temperatura del mar del perfil costero en Manta y La Libertad con las anomalías estandarizadas de los índices regionales N1+2, N3, N3.4, siendo a nivel subsuperficial entre los 50 y 75 m. donde se encontraron las más altas correlaciones lineales llegando a tener valores alrededor de 0.7 con la región N1+2 y N3 como se detalla en la tabla 3.

Al obtener las correlaciones lineales para cada

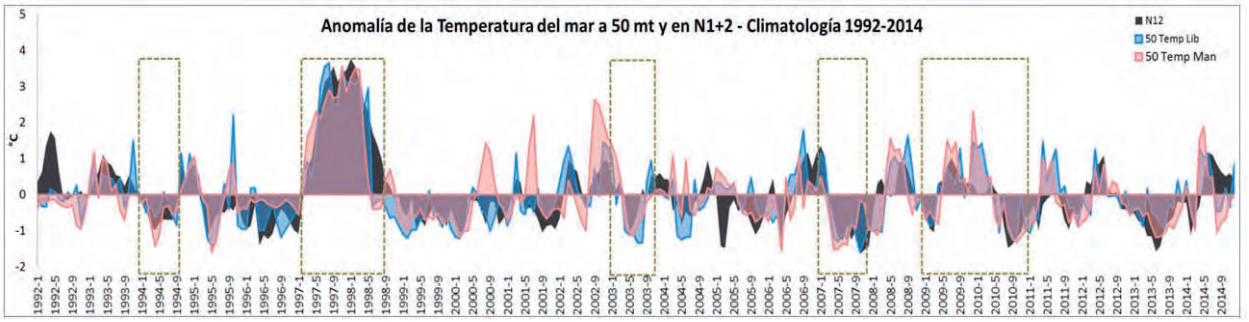
**Tabla 3** Coeficiente de Correlación de Pearson

| Estación según profundidad | | Coeficiente de Correlación | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | N12 | N3 | N34 | N4 |
| La Libertad | 0 a 10 mt | ,449** | ,365** | ,248** | ,120* |
| | 10 mt | ,457** | ,334** | ,202** | ,079 |
| | 20 mt | ,512** | ,441** | ,312** | ,201** |
| | 30 mt | ,585** | ,586** | ,451** | ,311** |
| | 40 mt | ,696** | ,696** | ,545** | ,367** |
| | 50 mt | ,768** | ,759** | ,594** | ,381** |
| | 75 mt | ,706** | ,688** | ,547** | ,351** |
| | 100 mt | ,535** | ,522** | ,381** | ,227** |
| Manta | 0 a 10 mt | ,570** | ,500** | ,372** | ,202** |
| | 10 mt | ,577** | ,521** | ,408** | ,253** |
| | 20 mt | ,425** | ,432** | ,356** | ,220** |
| | 30 mt | ,460** | ,517** | ,446** | ,314** |
| | 40 mt | ,600** | ,631** | ,519** | ,349** |
| | 50 mt | ,689** | ,692** | ,559** | ,361** |
| | 75 mt | ,732** | ,705** | ,562** | ,354** |
| | 100 mt | ,658** | ,605** | ,473** | ,280** |

**. La Correlación es significaiva al 0.01 nivel de significancia (2-tailed).

*. La Correlación es significaiva al 0.05 nivel de significancia (2-tailed).

año de la serie, se observa que no en todos los años las correlaciones son significativamente altas, como es el caso de los años donde no se evidenció un evento de impacto fuerte en el perfil ecuatoriano respecto con el anunciado en las regiones Niño; mientras que en los eventos fuertes como el ocurrido en el año 1997-1998 las correlaciones lineales con las regiones Niño en las dos estaciones están por arriba de 0.8, siendo la estación de La Libertad la que presenta valores más significativos; el año 1994 presenta correlaciones lineales significativas para las regiones N1+2 y N3, para el año 2003 Manta presenta las más altas correlaciones lineales por encima de 0.71 en las tres regiones Niño, siendo en La Libertad solo la región N1+2 con la que presentó correlaciones cercanas a 0.7; para el año 2006 existen correlaciones lineales significativas pero es la región N3 la que mejor se asocia La Libertad; 2007 presenta correlación lineal de las tres regiones niño con La Libertad y con Manta solo N3; el 2008 se asocia solo La Libertad con N3 significativamente, 2009-2010 se relaciona altamente las dos estaciones del perfil costero con las tres regiones Niño; a continuación se puede observar el comportamiento de asociación lineal entre los eventos de las estaciones del perfil costero comparadas con las de las regiones Niño, enmarcados están los años de correlación significativa.



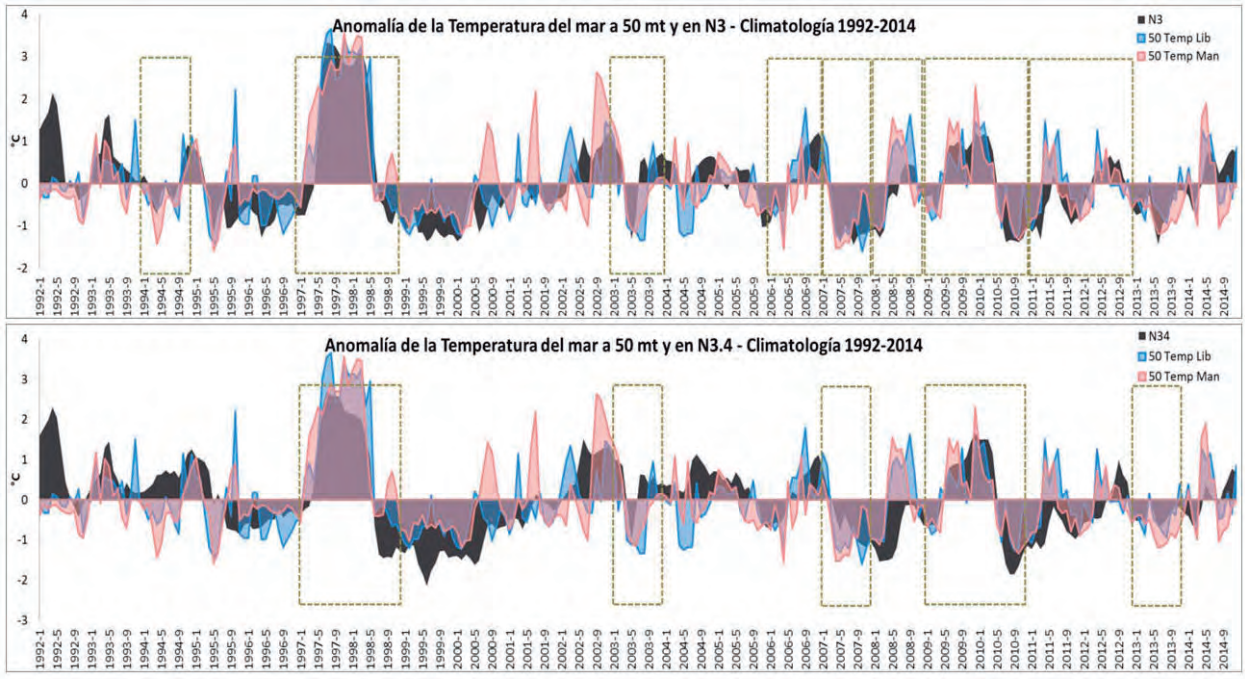



**Figura 8.** Gráfico de anomalías de temperatura del mar a 50 mts de las estaciones de La Libertad y Manta,y las regiones Niño N1+2, N3 y N3.4.

## CORRELACIONES CRUZADAS

A continuación se muestran las correlaciones cruzadas entre los índices regionales Niño y la temperatura a profundidades estándar.En la figura 9 se encuentran las correlaciones cruzadas de la estación 10 millas de La Libertad, todos los coeficientes más altos del análisis de correlaciones cruzadas resultaron positivos. Con el índice Niño 1+2 la temperatura de los niveles 10, 20 50 y 75 metros no presentó retardos, mientras que la temperatura a 30, 40 y 100 presentan un adelanto con respecto al índice regional en cuestión, siendo la temperatura a 50 metros la que mayor coeficiente de correlación presentó. Así como en el caso del índice Niño 3 la temperatura de 50 m fue la que registró un mayor coeficiente sin desfase junto a los niveles de 20, 30, 40 y 75 m, mientras que la temperatura de 100 m registra un adelanto de un mes y la de 10 m un adelanto de dos meses. En ambos índices la máxima correlación estuvo cercana a 0.8.

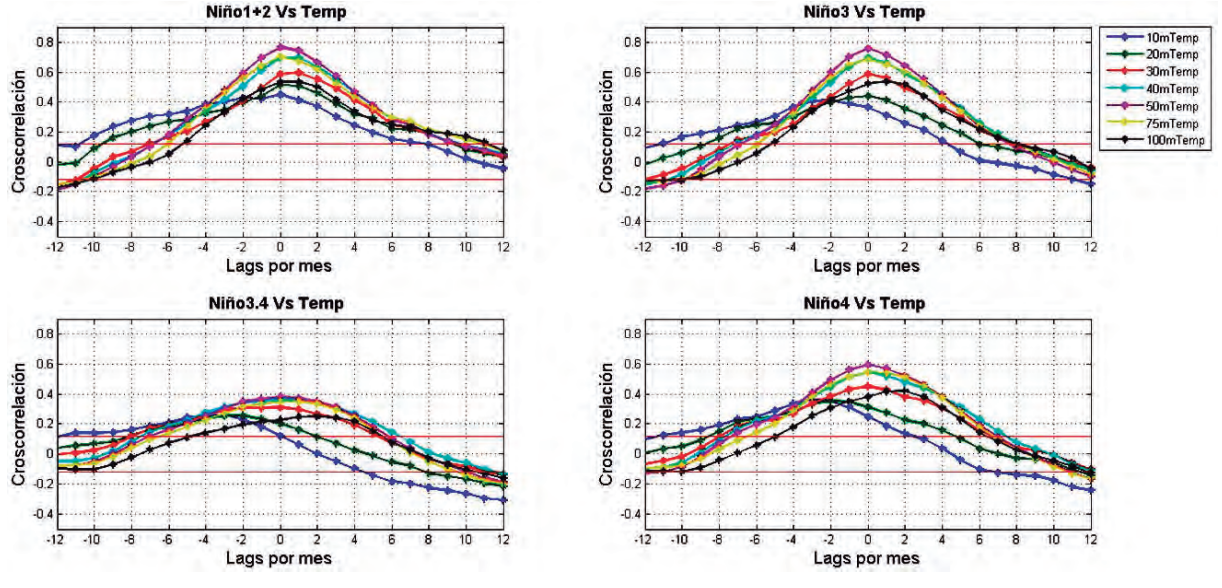



**Figura 9.** Correlación cruzada entre los índices Niño regionales y la temperatura estándar de las estación de Libertad

Sin embargo para los índices Niño 4 y Niño 3.4 los coeficientes de correlación se encontraron inferiores a 0.4 y 0.6 respectivamente. En el Niño 4 los niveles de 30, 40, 50 y 75 m registraron valores similares y sin desfases. La temperatura a 100 m fue la única en presentar un desfase positivo de dos meses. Los niveles de 10 y 20 presentaron un desfase negativo de 4 y 2 meses respectivamente. El mismo patrón de desfases se repite con Niño 3.4 con una diferencia de una fase menos con la temperatura a 10 m.

Un comportamiento ligeramente diferente se registró en la estación 10 millas de Manta, todos los coeficientes más altos del análisis de correlaciones cruzadas resultaron positivos pero los coeficientes y retardos varían. Con el índice Niño 1+2 la temperatura de los niveles 20, 30,40, 50 y 75 metros no presentó retardos, mientras que la temperatura a 10 m presenta un retardo de un mes y la temperatura a 100 m un adelanto con respecto al índice regional en cuestión, obteniendo un mayor coeficiente el nivel de 75 m. En el caso del índice Niño 3 la temperatura de 50 y 75 m fue la que registró un mayor coeficiente y sin desfase junto a los niveles de 20, 30, 40 y 75, mientras que la temperatura de 100 m registra un adelanto de dos meses y la de 20 y 10 m un adelanto de uno y dos meses respectivamente.

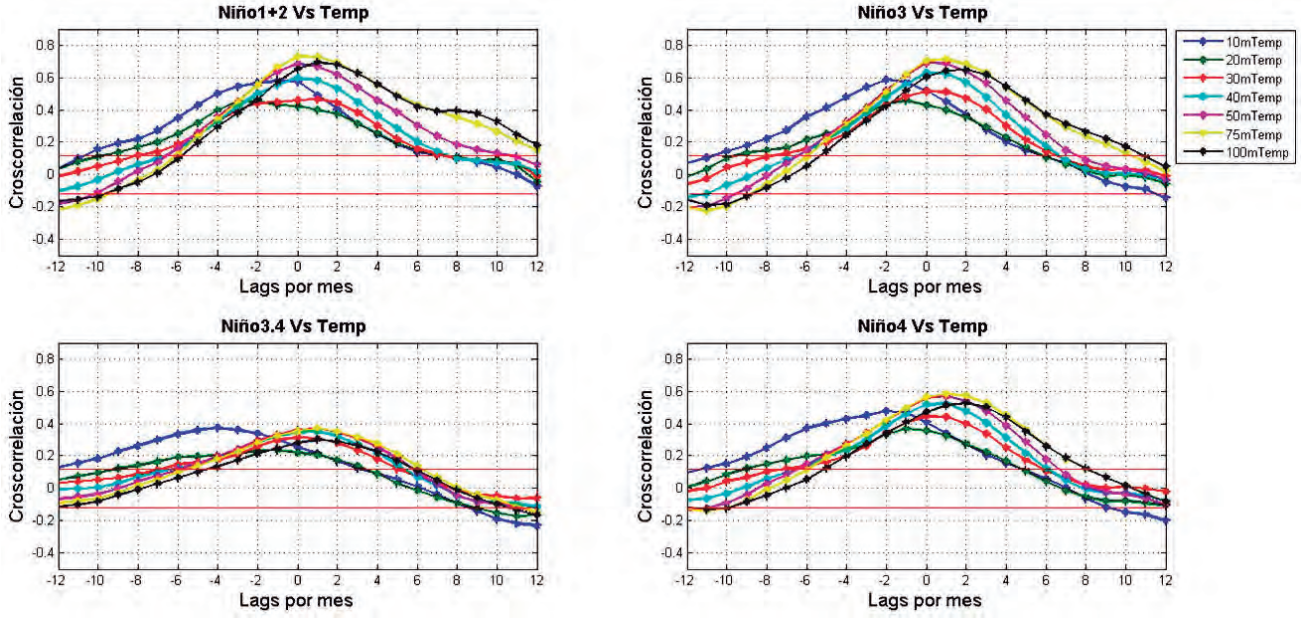



**Figura 10.** Correlación cruzada entre los índices Niño regionales y la temperatura estándar de las estación de Manta

Sin embargo para los índices Niño 4 y Niño 3.4 los coeficientes de correlación se encontraron inferiores a 0.4 y 0.6 respectivamente. Con el Niño 4 los niveles de 30, 40, 50 y 75 registraron valores similares con desfases positivos de un mes. La temperatura a 10 m fue la única en presentar un retardo de cuatro meses. El nivel de 20 mno presentó desfase. El mismo patrón de desfases se repite con Niño 3.4 con la diferencia de que con la temperatura a 10 m el desfase de dos meses negativos y el nivel a 100 m presenta un adelanto de dos meses.

## ANÁLISIS DE DENSIDAD ESPECTRAL

A continuación se encuentran representadas la máxima proporción de varianza por frecuencia normalizada en los gráficos de periodograma 11 y 12, junto con los ciclos de ocurrencia de cada serie en la tabla 4 (Matlab, 2013).

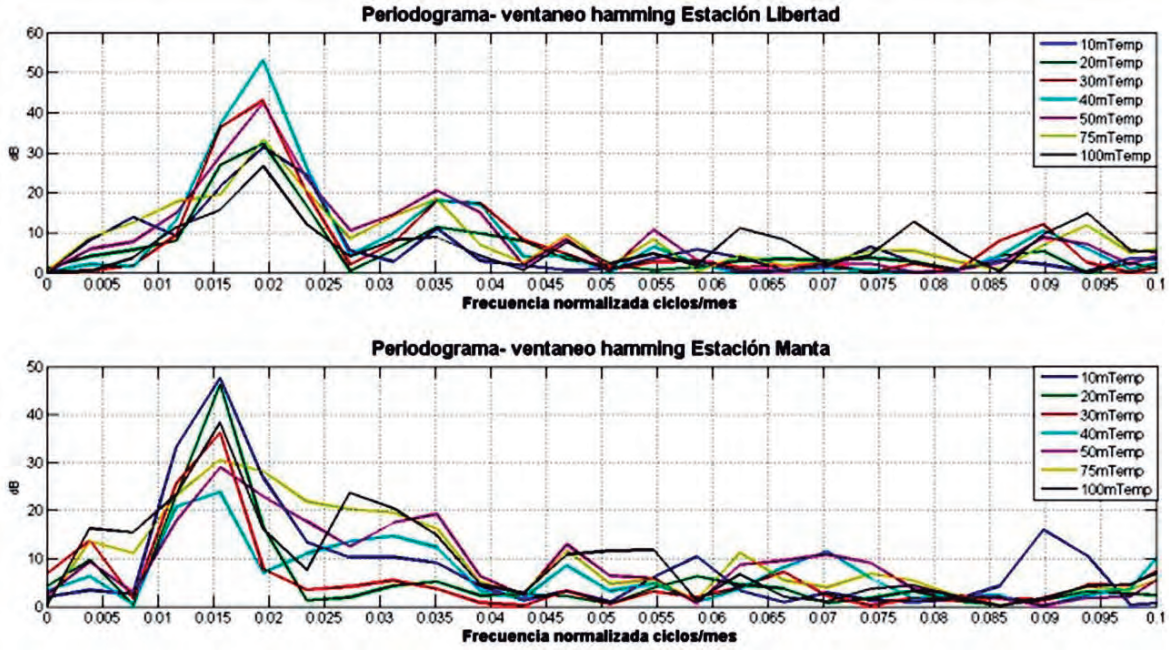



**Figura 11.** Gráfico de periodograma con ventaneo hamming de las series de temperatura a profundidadesestándar de datos monitoreados con CTD y con datos asimilados SODA.

En la figura 11 se observan los gráficos de periodograma de las estaciones de Libertad y Manta. Se puede observar que la frecuencia normalizada de las anomalías de temperatura de la estación de Manta no es la misma que la presentada en Libertad. Las series con mayor amplitud son temperatura a 40 m en Libertad y temperatura a 10 y 20 m en Manta. La serie de 75 m de la estación de Manta es la única que no tiene definido el valor máximo de proporción de varianza, lo que indica que presenta la señal de otro proceso oceánico.En la figura 12 podemos ver que el periodograma de las series de SODA presentan frecuencias similares por estación siendo la temperatura a 10 m la que posee mayor amplitud en ambas estaciones. El ciclo de ocurrencia de la máxima proporción de varianza de las anomalías de temperatura es la misma para todas las profundidades en ambas estaciones con los datos asimilados SODA.

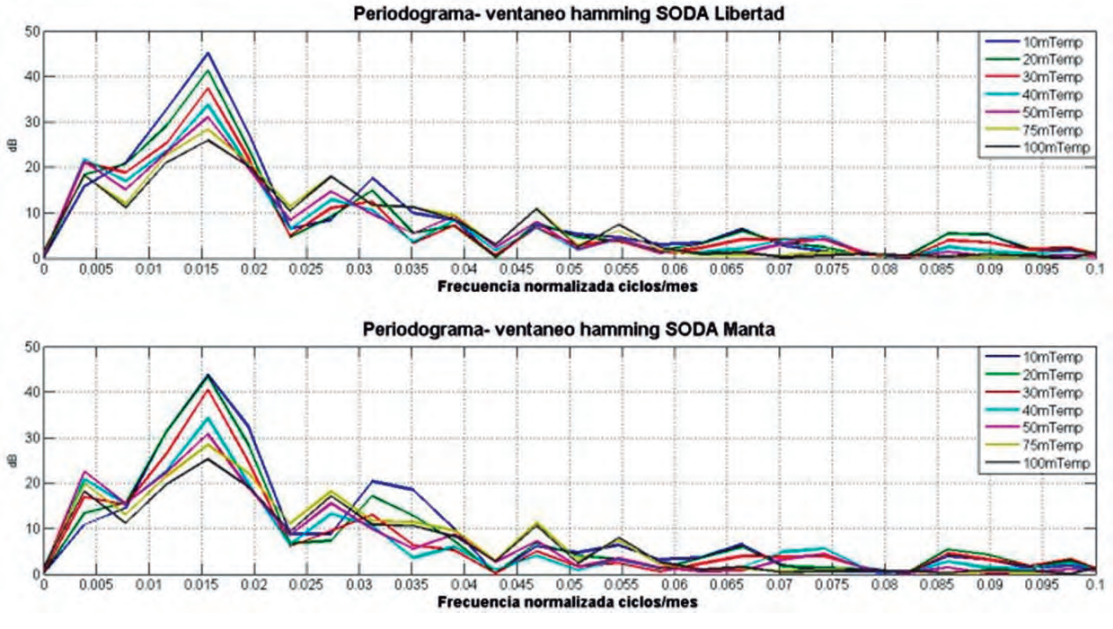



**Figura 12.** Gráfico de periodograma con ventaneo hamming de las series de temperatura a profundidades estándar dedatos monitoreados con CTD y con datos asimilados SODA.

**Tabla 4** Resultados del análisis de densidad espectral de las series de las Estacionescosteras monitoreadas con CTD y con los datos asimilados SODA.

| | CTD | Temp 10m | Temp 20m | Temp 30m | Temp 40m | Temp 50m | Temp 75m | Temp 100m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Libertad | Amplitud | 31.398 | 32.202 | 43.027 | 53.092 | 42.396 | 33.135 | 26.630 |
| | Frecuencia | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 |
| | Ciclo | 4.267 | 4.267 | 4.267 | 4.267 | 4.267 | 4.267 | 4.267 |
| Manta | Amplitud | 47.612 | 46.290 | 36.262 | 23.861 | 29.008 | 30.551 | 38.359 |
| | Frecuencia | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 |
| | Ciclo | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 |

| | SODA | Temp 10m | Temp 20m | Temp 30m | Temp 40m | Temp 50m | Temp 75m | Temp 100m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Libertad | Amplitud | 45.127 | 41.292 | 37.335 | 33.696 | 31.034 | 28.260 | 26.000 |
| | Frecuencia | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 |
| | Ciclo | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 |
| Manta | Amplitud | 43.806 | 43.444 | 40.535 | 34.288 | 30.746 | 28.430 | 25.254 |
| | Frecuencia | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 |
| | Ciclo | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 | 5.333 |

En la tabla 4 se puede observar que el ciclo de ocurrencia de la máxima proporción de varianza de las series de temperatura a profundidades estándar en las estaciones 10 millas de La Libertad y Manta, monitoreadas con CTD y asimiladas con SODA, estuvieron entre 4.2 y 5.3 años. La serie de temperatura de Libertad de CTD no coincide con los datos asimilados de SODA, teniendo los datos asimilados un mayor ciclo que coincide con el presentado por Niño 1+2 y Niño 3 en Perugachi et al (2014). Cabe destacar que esta señal fue la más significativa por lo que se puede concluir que las anomalías de temperatura en la columna de agua presentan la señal de variabilidad interanual propia de los eventos ENOS.

## CONCLUSIONES

En el perfil costero son las profundidades subsuperficiales de 50 y 75 mts las que mejor representan los eventos cálidos y fríos al observar la amplitud y permanencia que reflejan. Siendo la estación de La Libertad la que mejor representa los eventos fríos, mientras que para los eventos cálidos mejor lo representa Manta.

Los eventos ENOS manifestados en las regiones Niños no siempre reflejan la misma influencia en el perfil costero, como lo indica las correlaciones lineales obtenidas de forma anual; se tienen años en las que las correlaciones son altamente significativas con un nivel de significancia del 0.01 y otros años donde no se refleja esta asociación lineal.La profundidad de los 50 mt presenta la más alta correlación lineal con los índices regionales niño N1+2 y N3 al presentar valores cercanos a 0.8.La señal de la temperatura del mar a 50 mts en las estaciones de Manta y La Libertad no presenta desfase respecto a la señal de las regiones Niño.

La estación de Manta presenta el mismo ciclo de ocurrencia del evento, como lo refleja los índices regionales niño y los datos asimilados SODA para las coordenadas próximas a Manta; sin embargo al comparar La Libertad se observa un ciclo diferente.

Estos nuevos acercamientos tienen el potencial de mejorar la representación de ENOS y enfatizan la importancia de un monitoreo subsuperficial de las condiciones

oceanográficas en el Pacífico Central.

## REFERENCIAS


Emery, W. J. & Thomson, R. E. (2004) Data analysismethodsforphysicaloceanography.Chapter 4. Elsevier. London.

George. E, P. Box, William G. Hunter, J. Stuart Hunter (1988) Estadística para Investigadores, introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos. Editorial Reverté, S.A. pp 573

Hernández, F. & Zambrano, E. (2009) Relación entre la temperatura superficial del mar del océano Pacífico Oriental y las precipitaciones en la costa del Ecuador. Acta oceanográficadel Pacífico, vol. 15 N° 1.

McPhaden, M. J., Lee, T. &McClurg, D. (2011) El Niño and itsrelationshiptochangingbackgroundconditions in the tropical PacificOcean. Geophysicalresearchletters, 38, L15709.

Moreano, H., Zambrano, E., Suescum, R. & Paredes N. (1986) El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Periodogram, Matlab. Periodogrampowerspectral, densityestimate. [En línea] 2013. http:/www.mathworks.com/help./signal./ref/periodogram.html.

Perugachi-Salamea, C., González-Narváez, M., Pambabay-Calero, J., García-Arévalo, I., Vargas-Ayala , F., Shigla-Cuji, G.&Nath-Nieto, J. (2014) Caracterización Oceanográfica del perfil costero ecuatoriano a través de métodos estadísticos aplicados a las estaciones fijas de monitoreo del INOCAR, serie a partir de 1981.Acta oceanográfica, vol. 19 N° 1.

Zambrano, E. (1986) El fenómeno del Niño y la oscilación del Sur. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 3 N° 1.

Zambrano, E., Martínez, G. & Garcés-Vargas, J. (2000) Variabilidad oceanográfica en Ecuador asociada con el evento ENSO 1997-98. Acta oceanográfica del Pacífico, vol. 10 N° 1.

Zambrano, L. (2009) Importancia del manejo de datos oceanográficos Acta oceanográfica, vol. 15 N° 1.

# CLIMA DE OLAS EN LA ZONA ECUATORIAL CON INFORMACIÓN SATELITAL

Leonor Vera San Martín
Susy Marín Villalta

## *RESUMEN*

*Las olas generadas en zonas de altas latitudes del Pacífico se desplazan hasta los continentes, afectando principalmente la costa occidental de Sudamérica. Para propósitos de prevención y de operación por el impacto del oleaje, es preciso determinar la climatología de olas, para lo cual se ha utilizado información de satélites. El dominio del estudio comprende la zona ecuatorial limitada entre las latitudes 15°N y 15°S y las longitudes 78°W y 110°W. Se utilizaron 23 años de información desde 1992 al 2014, este periodo de datos permitió calcular una climatología base, que muestra una distribución de alturas ordenadas latitudinalmente de menor a mayor de norte a sur, y con mayores alturas de olas desde julio a septiembre. Además en este lapso, han ocurrido eventos climáticos extremos como El Niño y la Niña; y se observó que en ocasiones El Niño influyó sobre altura significativa, aumentando su valor medio. Sin embargo, en la Niña no se evidenció una relación con este parámetro.*

***Palabras clave:*** *Clima de olas, Altura de olas, Altimetría satelital; Ondas superficiales, Pacífico ecuatorial*

## *ABSTRACT*

*The waves generated in high latitudes of the Pacific travel to the continents, mainly affecting the west coast of South America. To have tools in order to prevent the impact of waves, it is necessary to determine the wave climatology; with this purpose it has used wave data from satellites. The domain of study includes the equatorial zone limited between 15 °N and 15 ° S and 78 °Wand 110 ° W. Twenty three years of information from 1992 to 2014 were used. With this data It was possible to calculate a wave climatology. The data showed a latitudinal height distribution, sorted from lowest to highest from north to south, and with greater height values between July and September. Also in this period, extreme weather events such as El Nino and La Nina occurred and it was observed that sometimes, El Niño influenced on wave height, increasing its average value. However, in la Niña event is not observed a relationship with It.*

***Key words:*** *Wave climate, Wave height, Satellite altimetry, Surface water waves, Equatorial Pacific.*

[1] Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

## INTRODUCCIÓN

La región ecuatorial oriental, adyacente a la costa de Sudamérica es una zona de convergencia de corrientes y vientos, expuesta a la acción de los procesos oceánicos que ocurren a lo ancho y largo del Pacífico. Por esta razón las olas generadas en regiones oceánicas lejanas afectan a la zona costera occidental de Sudamérica, donde se sitúa Ecuador. La zona ecuatorial se caracteriza por ser de relativa calma con vientos superficiales promedio de 6 m/s (Capss and Zender, 2008), lo cual implica formación de olas de período, altura y longitud de onda de poca magnitud. Sin embargo la zona sur del Pacífico, con latitudes mayores a 40°S, se caracteriza, por regiones continuas de baja presión, con zonas de alcance y duración de viento (fetch) lo suficientemente grande, para la formación de olas de mayor energía. El oleaje formado en esta región del Pacífico se propaga casi a todas las regiones del mundo. (Alves, 2006 y Collard, 2009).

En la zona de estudio es difícil la validación de la información, si se considera que solamente se encontró una sola boya instalada para medir olas, en las coordenadas 9.9° S y 105.2° W, la misma que proporcionó información de altura y período, por 6 meses en 1986.Tampoco existen reportes de olas medidos desde buques de oportunidad. Con todas estas carencias de información, la cobertura espacial y temporal que hacen los satélites y el uso del radar altímetro, incorporado por primera vez en el satélite Geosat, constituyó un avance importante para estas mediciones. Los datos de satélites representan una buena estimación de la de altura significativa de olas (Hs). (Carter 1993) y suelen tener una exactitud de 0.5 m o 10 %, cualquiera que sea el mayor, para un rango entre 1 y 20 m. (Bauer, 1994), lo que es comparable con el error de muestreo del registro de 20 minutos de una boya (Laing 2000). Aunque el altímetro puede proveer solamente la altura de ola (y de manera indirecta el período), la cobertura temporal data de 1985, lo que representa, hasta la fecha actual, más de 25 años de registros. Los datos satelitales de olas han sido utilizados para calcular climatologías, variabilidad y tendencias (Gentil de Farias, 2011, Young 2011, Hemer, Wolf et al, 2002, Laing 2000), para la identificación y seguimiento de swells (Collard, 2009, Delpey et al, 2010, Holt et al, 1998) y en estimación de eventos extremos (Izaguirre et al, 2011). En este trabajo se presenta el resultado de la climatología de olas de la región ecuatorial.

## DATOS

La información ha sido obtenida de RADS, base de datos sustentada por la misión del servicio orbital alemán (DEOS por sus siglas en alemán) que opera dentro de la red de observación satelital de la tierra de los países bajos. Desde el año 1985, se han efectuado más de diez misiones satelitales dotadas de equipos específicos para la medición de olas, siendo la primera, la misión geodésica satelital GEOSAT (abril 85-sep/1989). Entre esta misión y las siguientes hubo una pausa de casi dos años. Otro limitante importante en la altimetría es la dispersión temporal y espacial de los datos, porque a un satélite le puede tomar por lo menos 10 días en retornar al mismo punto, y la captura de información es únicamente de la superficie del mar que está directamente debajo de él. Cotton y Carter (1994) establecieron que con cinco pases calibrados de satélites sobre una región del océano, en un mes, era posible obtener un estimado razonable y sin sesgo de la media climatológica correspondiente a ese mes. Woolf et al (2002) señalaron que se cumplió esta condición para las órbitas de cada satélite dentro de cuadrículas de 2°. Laing 2002 y Hammer et al (2010), también acogen esta metodología en sus estudios de clima de olas.

Se contabilizaron 337 meses de datos, repartidos entre los años 1985 y 2014: enero, febrero y marzo, con 27 meses; abril, mayo, junio, julio y octubre, con 28 meses y agosto, septiembre, noviembre y diciembre; con 29. En

la tabla 1, se detalla el período de la información para cada satélite. Se utilizaron los datos disponibles en la banda Ku, excepto para el satélite Saral, que por no tener disponible esta opción, se usó la banda Ka.

A pesar de que Wolf et al 2002, recomiendan calibrar los datos con mediciones in situ, en la zona de estudio únicamente se localizó la boya 32301 (registro de la NBDC), con información de Hs entre febrero y julio de 1986, cuyo período no coincide con el período de este estudio, por lo que no pudo ser comparada. No se realizó un tratamiento de corrección adicional al realizado por RADs, se eliminaron datos de Hs iguales a cero o mayores a 5 m, considerando que la Hs máxima de la boya 32301 fue de 4.6 m. Información no publicada de Hs medida con sensores de presión y boyas en áreas cercanas a la costa de Ecuador, máximo a dos millas de la costa, indican altura promedio de 0.6 m.

**Tabla 1.** Lista de satélites de donde se obtuvo la información de olas

| Satélite | Institución | Datos disponibles | Nota |
|---|---|---|---|
| GEOSAT GM (Geodetic Mission) | US Navy | 31/03/1985-30/09/1986 | En RADS, se lo denomina GeosatA. Su principal objetivo fue obtener abundante información del geoide marino, el espaciamiento promedio de la cuadrícula del track fue de 4 Km. |
| GEOSAT ERM (Exact repeat mission) | US Navy | 8/11/1986-30/12/1989 | En RADS, se lo denomina GeosatB. Comenzó oficialmente el 1 de octubre de 1986 y continuó hasta enero/1990 y proporcionó más de tres años de valiosa información de altimetría. |
| ERS-1 | European space agency (ESA) | 01/08/1991-24/03/1995 | Esta misión contó con siete fases principales denominadas: ERS a, ERSb, ERSc, ERSd, ERSe, ERSf y ERSg. |
| Topex/POSEIDON. | CNES (Agencia espacial francesa<br><br>NASA (Agencia espacial de Estados Unidos) | 25/09/1992-8/10/2005 | La misión duró entre el 10 de agosto/1992 y 6 de enero/2006.<br>Entre el 15 agosto y 16 de septiembre/2002, se realizó el cambio de órbita. A partir de septiembre/2002 empezó una nueva órbita.<br>Tenía dos altímetros instalados a bordo (el Topex y el Poseidón). Con el Poseidón obtuvo información entre el 1de octubre y 12 de julio/2002 |
| ERS-2 | CNES/NASA | 29/04/1995-04/07/2011 | Lanzado en la misma órbita que ERS1. |
| GEOSAT Follow On | US Navy/NOAA | 7/01/2000-17/09/2008 | Tuvo la misma órbita del Geosat. |
| Jason-1 | CNES/NASA | 15/01/2002-21/06/2013 | El lanzamiento fue en diciembre del 2001.<br>Desde febrero del 2009 hasta marzo del 2012, su órbita estuvo coordinada con la del Topex Poseidón (primera fase) y la del Jasón 2. Desde mayo/2012 hasta junio 2013, cambió de órbita. |
| Envisat | ESA | 14/05/2002-08/04/2012 | En octubre del 2010 la órbita del Envisat tuvo una ligera modificación. |
| Jason-2 | CNES/NASA | 4/07/2008 11 Sep 2015 | En la órbita original del Topex. |
| CryoSAT-2 | ESA / NOAA | 8/04/2010-31/12/2014 | Fue lanzado el 8 de abril del 2010<br><br>Se mantiene en órbita. |
| SARAL | ISRO (Organización de investigación espacial de la India) y CNES | 14/03/2013-31/12/2014 | Se mantiene en órbita |

[1]**Nacional Buoy Data Center**

Siguiendo las recomendaciones de estos autores, se dividió a la zona de estudio en cuadrículas de 2° (aproximadamente 220 km), lo que implicó una malla de 16 x 16 celdas en latitud y longitud ó 256 celdas en total. Se promediaron los datos de los pases de los satélites sobre cada celda durante cada mes y se generó una matriz 16 x 16 de Hs por cada mes/año disponible.

## RESULTADOS
## CICLO ANUAL Y VARIACIONES MENSUALES

El ciclo anual de la Hs fue calculado para todo el dominio, se obtuvo una media mensual de cada año disponible, y a pesar de que entre 1985 y 2015 son 32 años, se deben restar los dos primeros meses del año 1985, octubre del 86, todos los meses del año 1990, los siete primeros meses de 1991 y los nueve últimos meses del 2015. Con esto se calcularon 341 promedios mensuales, figura 1a. Estos valores mensuales fueron promediados por año y se obtuvo la Hs promedio anual, figura 1b. Tanto los promedios mensuales como anuales, mostraron que en los primeros años, del 85 al 89, los datos están desfasados, por lo que en adelante, en este trabajó se utilizó la serie entre 1992 y 2015, lo que implica 23 años de información. Los máximos anuales de Hs, se encontraron en los años, 1998, 2010 y 2011.

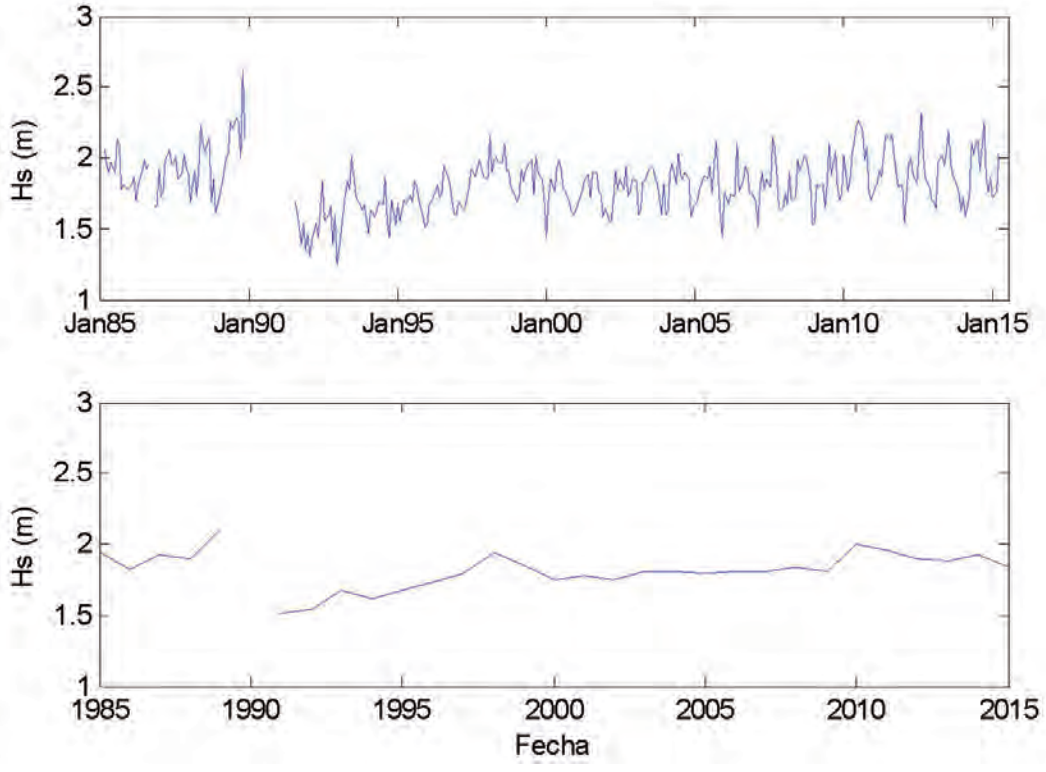



**Figura 1.** a) En la parte superior se muestra la Hs promedio de cada mes/año de todo el dominio, b) Abajo se graficó la media anual de toda el área de estudio.

Se calculó para cada cuadrícula del dominio la media anual, Figura 2, observándose que La Hs se distribuye latitudinalmente, con los mayores valores de Hs en el suroeste de la zona de estudio. En el noreste, la Hs tiene un promedio de 1.3 m, mientras que hacia el suroeste, la altura se va incrementando hasta alcanzar un promedio mayor a 2 m. Entre la zona costera ecuatoriana y las islas Galápagos, se observó un altura promedio de 1.5 m. Se debe tener en cuenta, que las mediciones son más efectivas en océano abierto, pues en las zonas costeras los satélites tienen dificultades por la señal emitida por la tierra. (Carter,1993)

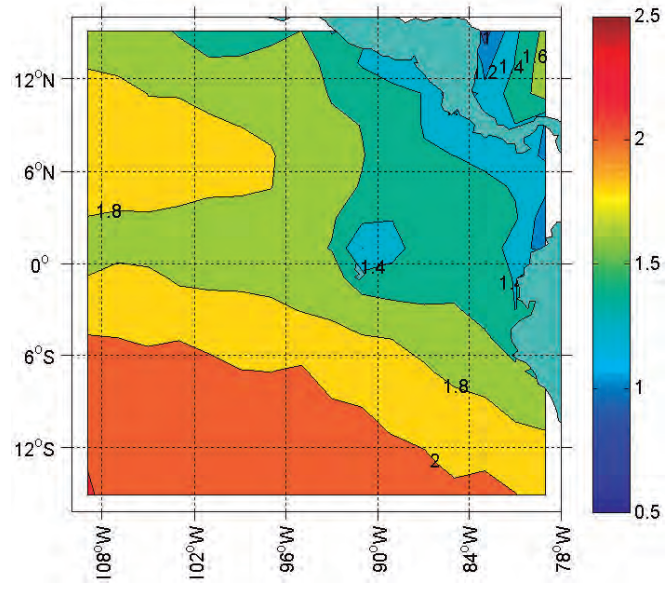



**Figura 2.** Media de Hs utilizando la información de los satélites en el período entre 1991 y 2015.

El promedio mensual de Hs, Figura 3, muestra que diciembre, enero y febrero, presentan valores menores en comparación con julio, agosto y septiembre, correspondientes al verano e invierno del hemisferio sur, en su orden. Los mayores valores de Hs coinciden con vientos más fuertes y sostenidos que se dan durante el invierno del Hemisferio Sur (julio a septiembre), (Young, 1999).

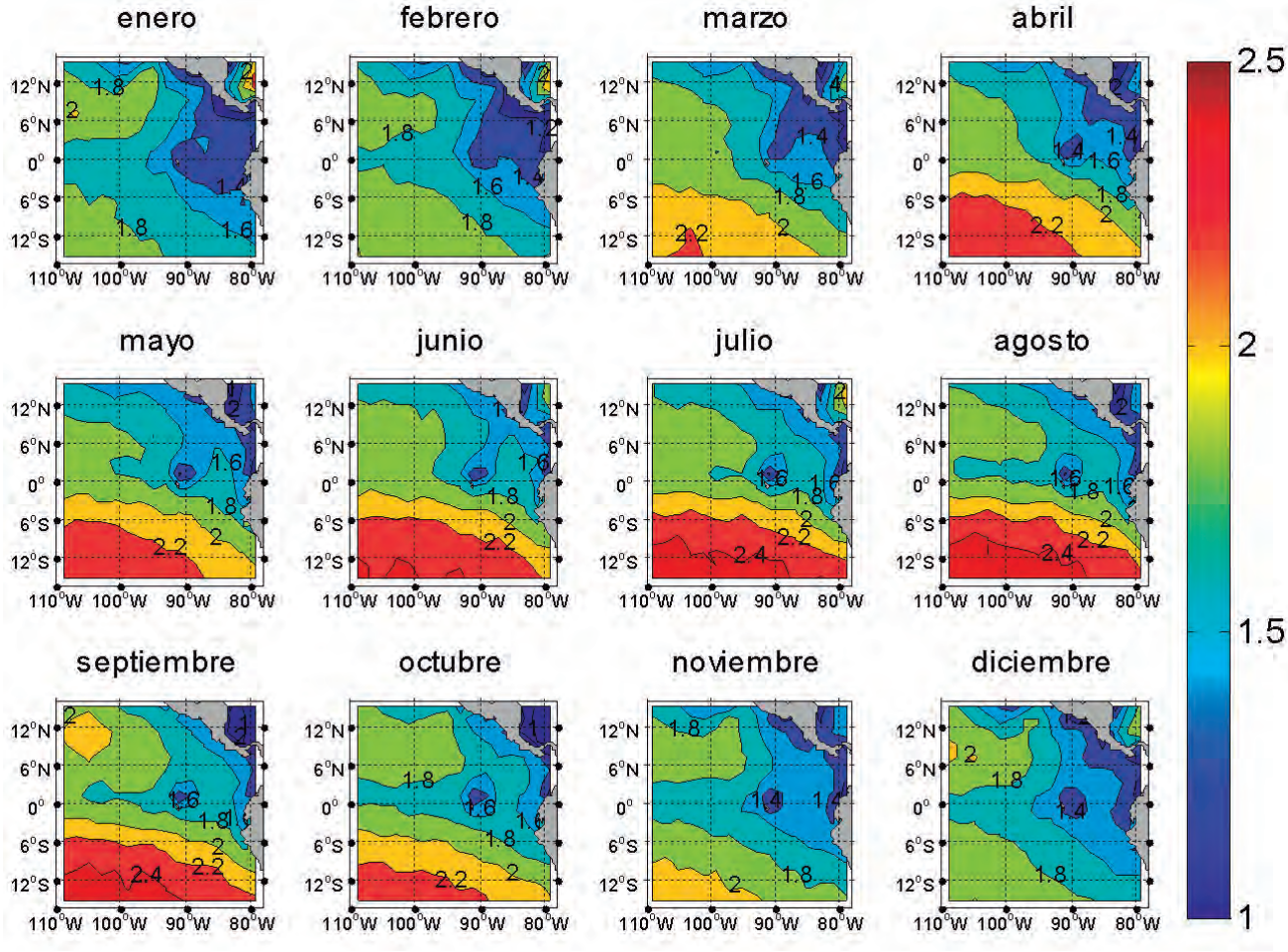



**Figura 3.** Media mensual de Hs utilizando la información de los satélites en el período entre 1991 y 2015.

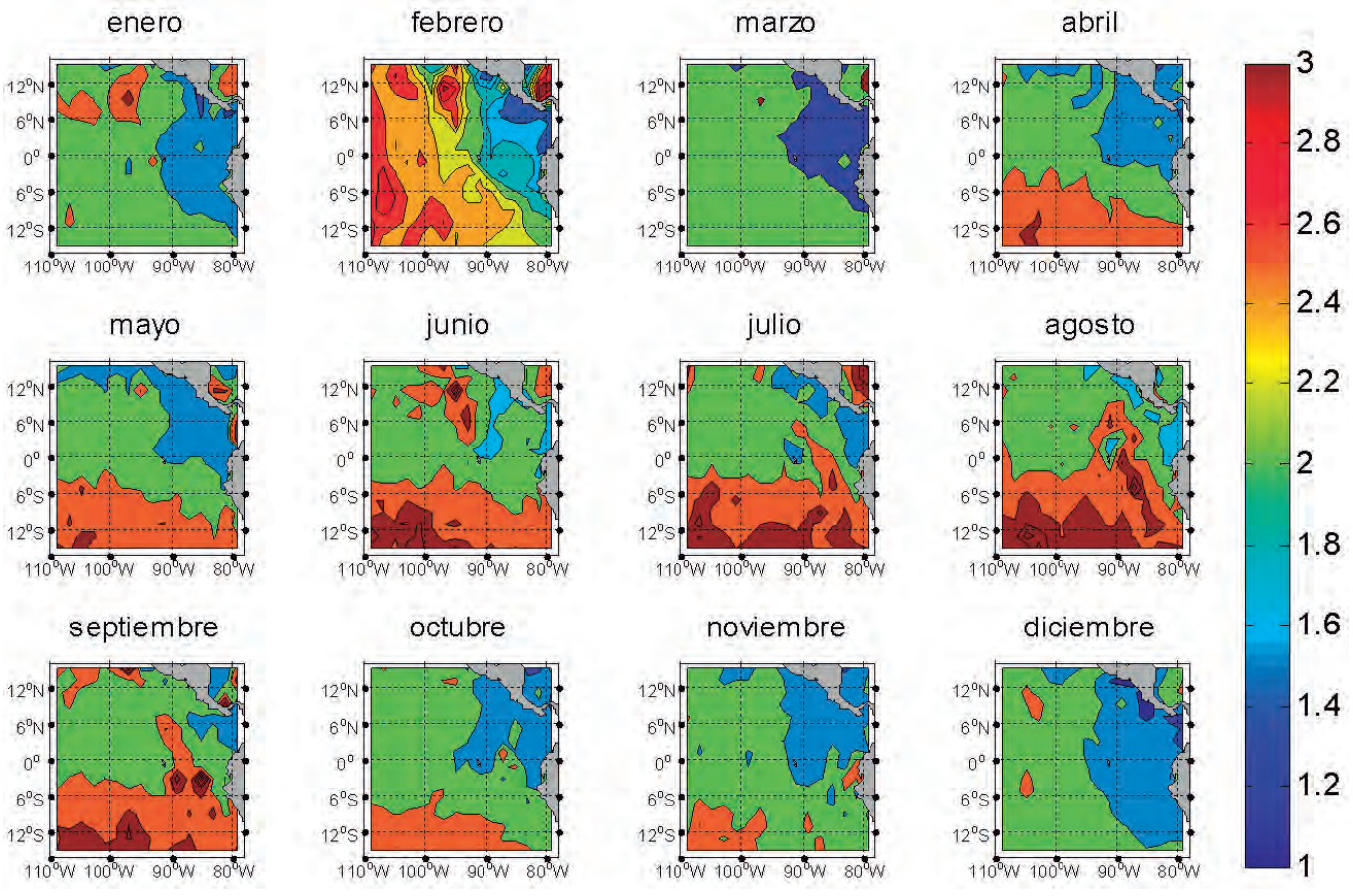



**Figura 4.** Valores máximos de Hs utilizando la información de los satélites en el período entre 1991 y 2015.

Los valores máximos de Hs se generan durante los meses de junio hasta septiembre, donde se encuentran los valores picos de alturas de olas hasta 3 m, esto coincide con los altos valores de velocidad de viento U10 entre 15 -10.2 m/s que ocurren en altas latitudes durante la estación de invierno del hemisferio sur (Young, 1999). En febrero la distribución de máximos es importante en la zona oeste del dominio estudiado.

## APROXIMACIÓN A CONDICIONES LOCALES

Para conocer el comportamiento de la Hs, lo más cerca a las costas de Ecuador, se seleccionaron tres cuadrículasde norte a sur en las coordenadas: 2°N a 0, 0 a 2°S y 2° a 4°S con intersección con la longitud 80° y 82° O, cuyo centro se encuentra a 150, 15 y 80 km aproximadamente de la costa continental ecuatoriana. Para Galápagos se seleccionó el sector al suroeste de Galápagos, entre 90 y 92° W y 0° y 2°S. Estas cuadrículas son cuadradas con un ancho de 2° ó 222 Km². El promedio mensual de cada Hs y de cada una de estas zonas se muestra en la Tabla 2. En la figura 4, se puede observar que en el sector de Galápagos las alturas son siempre mayores que en las otras zonas, que están más cercanas a la costa y que en el sector norte la Hs es menor.

**Tabla 2.** Altura significativa de olas en mar ecuatoriano

| | 2°N - 0° 80°- 82° W (Norte) | 0° - 2°S 80 - 82° W (Centro) | 2 - 4° S 80 - 82° W (Sur) | 0° - 2°S 90 92 ° W (Galápagos) |
|---|---|---|---|---|
| Enero | 1,24 | 1,27 | 1,24 | 1,30 |
| Febrero | 1,21 | 1,29 | 1,28 | 1,39 |
| Marzo | 1,27 | 1,39 | 1,42 | 1,49 |
| Abril | 1,30 | 1,44 | 1,47 | 1,61 |
| Mayo | 1,40 | 1,52 | 1,52 | 1,59 |
| Junio | 1,51 | 1,57 | 1,54 | 1,62 |
| Julio | 1,43 | 1,46 | 1,51 | 1,61 |
| Agosto | 1,41 | 1,46 | 1,50 | 1,61 |
| Septiembre | 1,42 | 1,49 | 1,51 | 1,61 |
| Octubre | 1,43 | 1,47 | 1,51 | 1,48 |
| Noviembre | 1,34 | 1,34 | 1,38 | 1,34 |
| Diciembre | 1,28 | 1,29 | 1,29 | 1,32 |

Además estacionalmente, se observa que de mayo a octubre, las alturas son mayores que en los otros meses, ver figura 5.

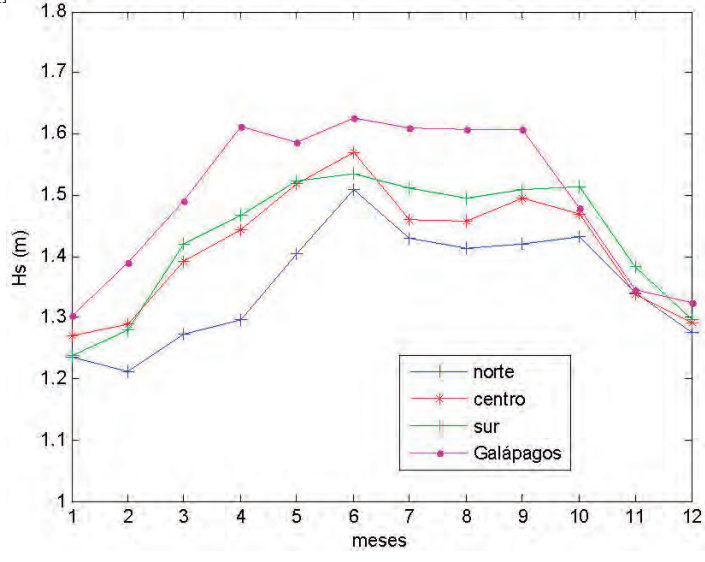



**Figura 5.** Climatología mensual de olas en tres puntos frente a la costa ecuatoriana. La base de la climatología es de 23 años (1992-2014).

## COMPARACIÓN CON AÑOS NORMALES Y AÑOS EL NIÑO

De acuerdo al índice ONI, entre agosto de 1992 y diciembre del 2014, fueron reportados seis eventos El Niño, cuatro débiles, dos moderados y un fuerte. Para realizar un análisis cualitativo, se graficaron las anomalías anuales de Hs de los años de inicio y fin del evento, figura 6. Se observaron anomalías positivas de Hs, por encima de 20 cm, durante los años de finalización de El Niño moderado (2010) y fuerte (1998), aunque las señales del evento el Niño, medidos por el índice ONI, solamente perduraron hasta el tercer y cuarto mes de los años mencionadados. En el Niño moderado del 2003 y en los demás niños débiles, no se observó ningún efecto sobre la altura de olas.

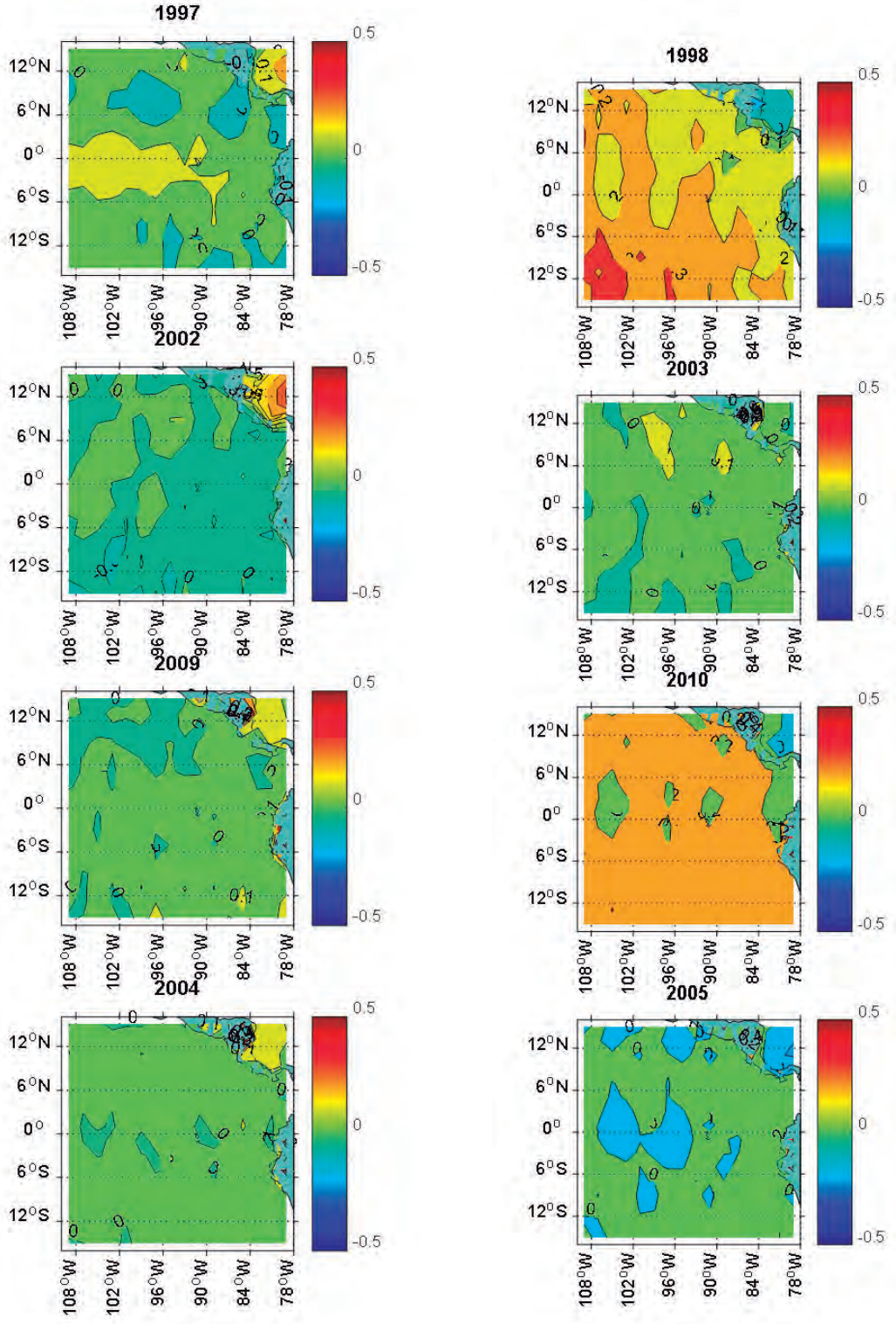



**Figura 6.** Anomalías de Hs durante años El Niño, la columna de la izquierda corresponden al año de inicio del evento.

La figura 7 de los años La Niña no mostró una diferencia significativa en el comportamiento de la Hs. En los años moderados de la Niña (1999 y 2007), se observó que en el primer año del evento, las anomalías fueron positivas, especialmente en el 1999, cuando se observaron valores de hasta 10 cm. Las anomalías de las Niñas débiles (1995-1996 y 2011-2012) tuvieron comportamientos disímiles. En La Niña 1995-1996, se presentaron anomalías negativas de hasta 5 cm y en La Niña del 2011-2012, anomalías positivas de hasta 20 cm.

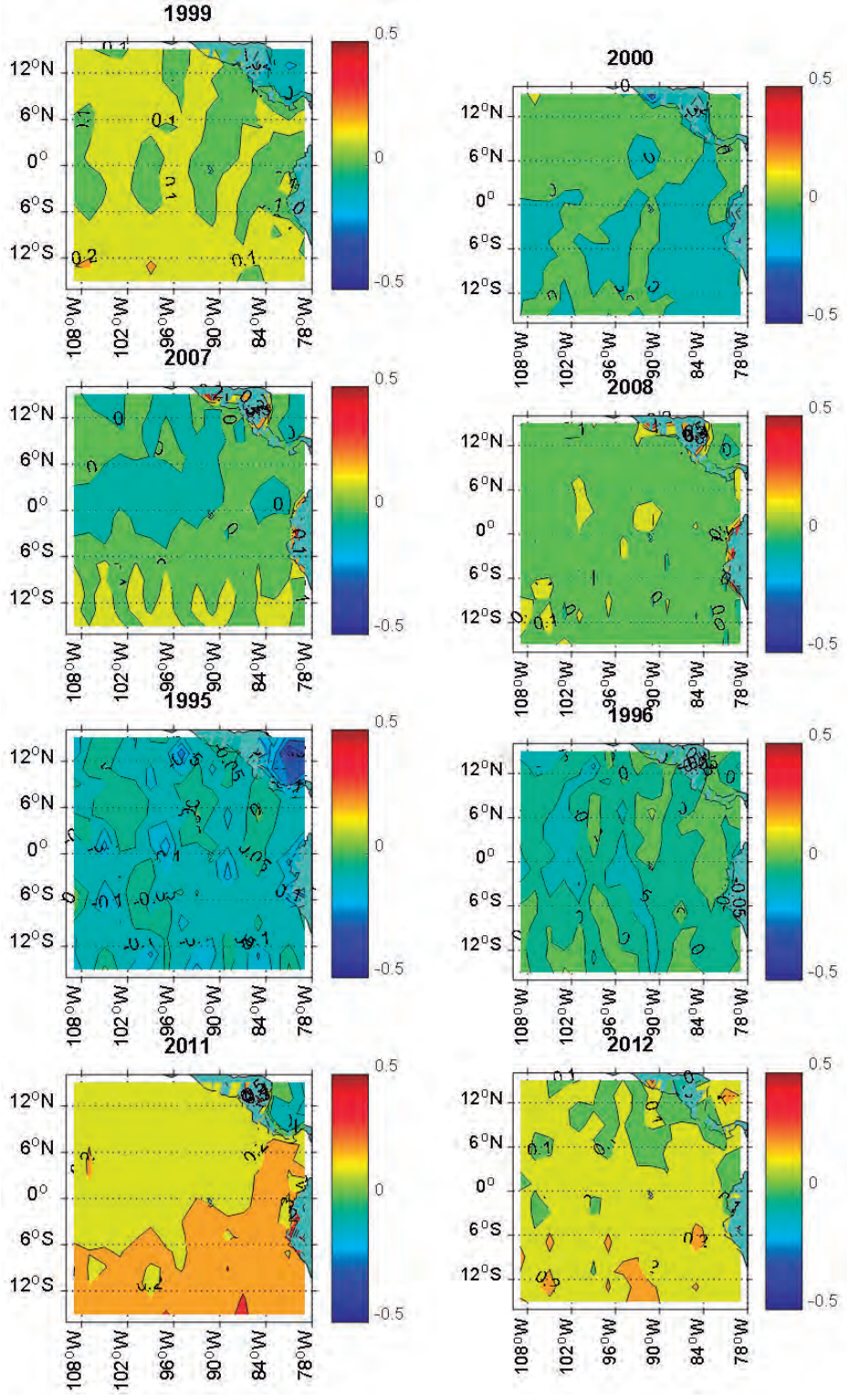



**figura 7.** En las dos primeras filas se representan anomalías de La Niña moderada, en las dos últimas anomalías de La Niña débiles

Para determinar las anomalías mensuales de los eventos El Niño y La Niña considerados más fuertes o duraderos en el período de estudio, se tomó como referencia el Niño extremo 1997-1998 y la Niña 1999-2000. En la figura 8, correspondiente a El Niño (mayo/97-mayo/98), se presentaron anomalías positivas de Hs, donde se observan valores mayores de 20 cm desde octubre/ 1997 hasta febrero/98, siendo este mes, cuando aparecen las más altas anomalías positivas (+60cm).

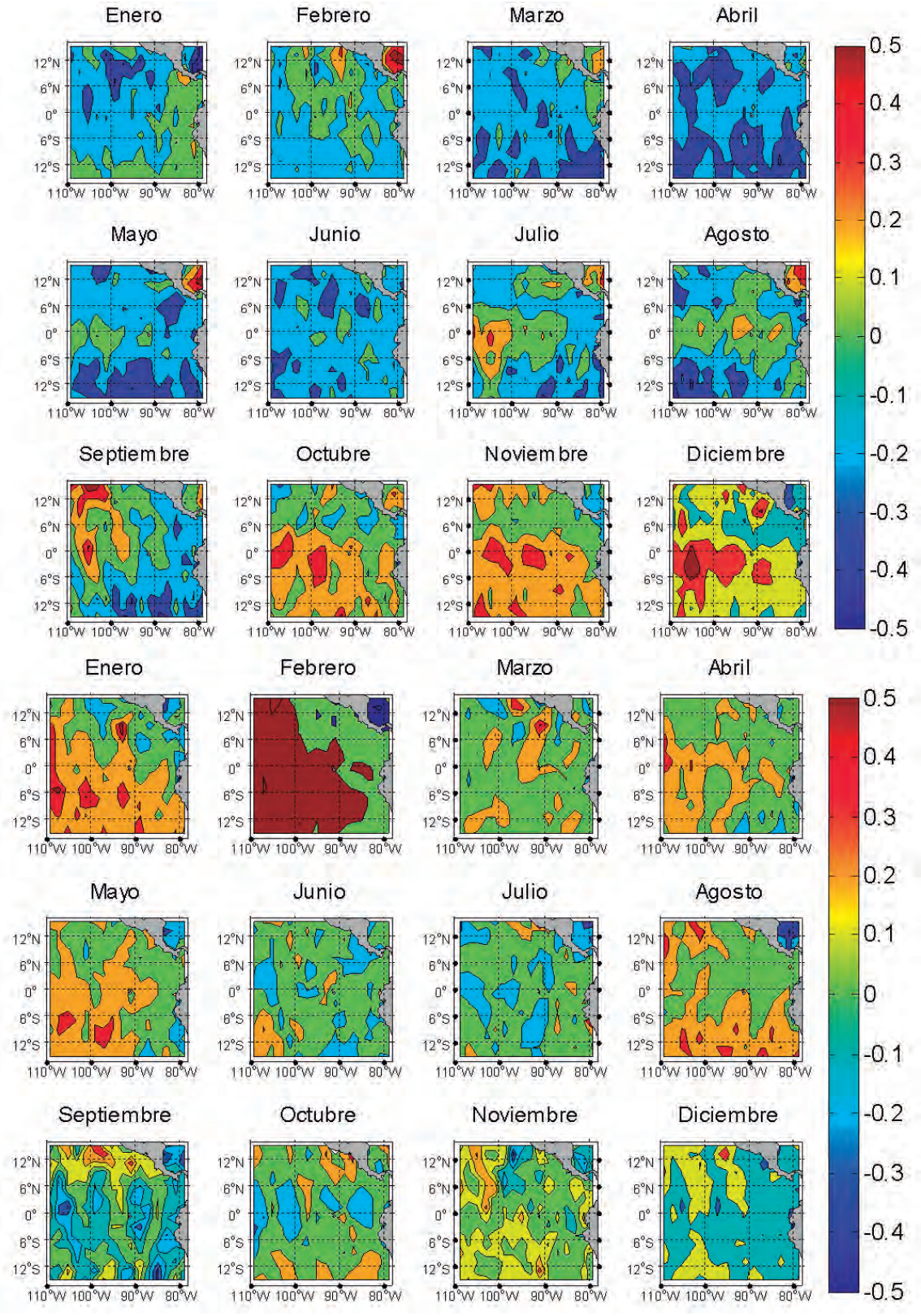



**Figura 8.** Anomalias de altura de olas –NIÑO 1997-1998

En la figura 9, la Niña 1999-2000 (aunque hay que recalcar que las condiciones La Niña se iniciaron en julio/98 y se mantuvieron hasta marzo/2001), las anomalías mensuales son variables, sin embargo se mostraron algunas anomalías negativas que no se reflejan en las anomalías anuales. Se observaron anomalias negativas entre 20 y 50 cm en agosto y enero/99 y entre agosto y diciembre/2000.

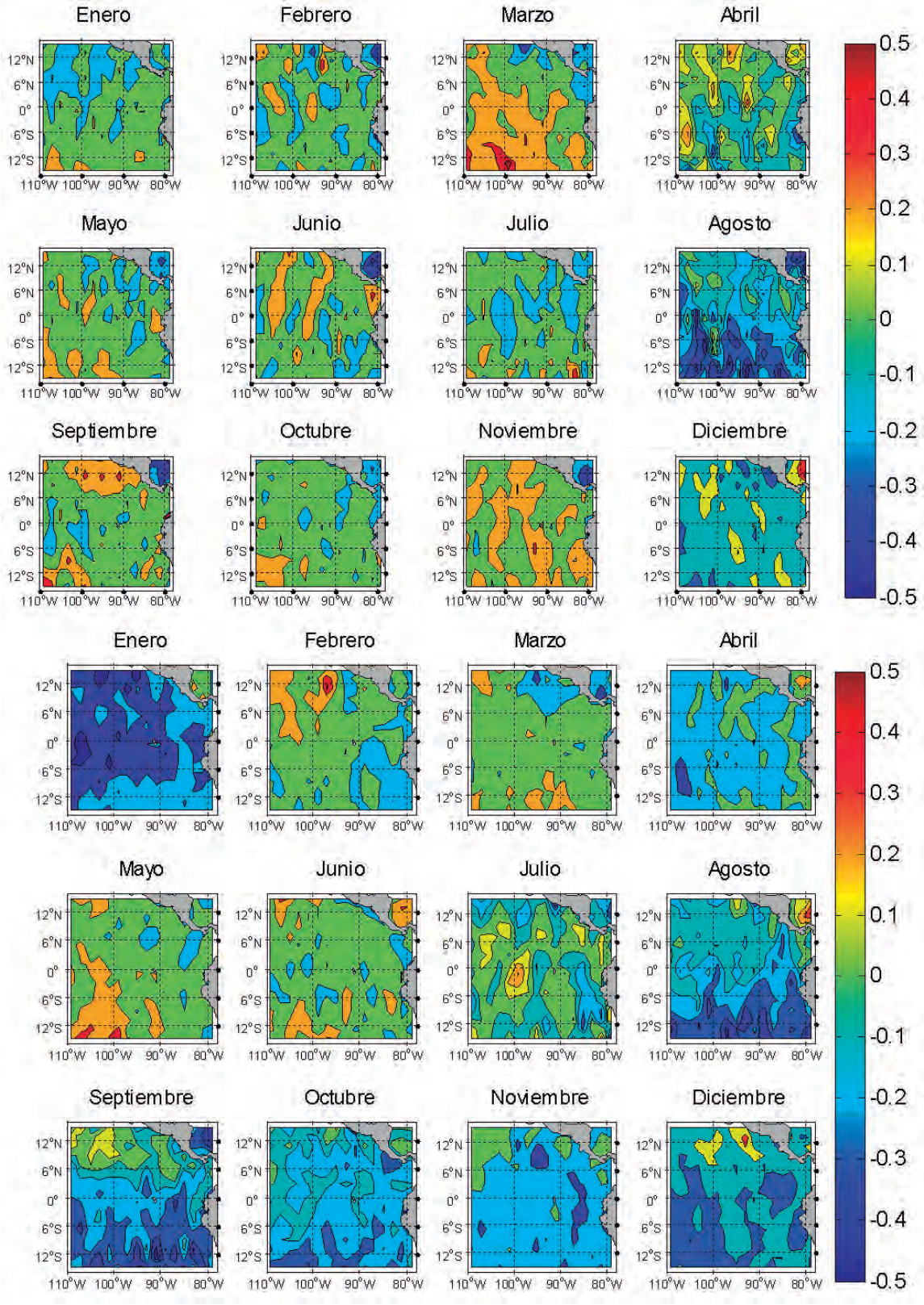



**Figura 9** Anomalias de altura de olas –NIÑA 1999-2000

## CONCLUSIONES

La información de olas en la zona ecuatorial, obtenida a través de satélites es muy importante, considerando que es la única fuente de medición directa de mediano plazo, con la que se cuenta. Los controles de calidad del dato, que se aplican desde la fuente y que están en constante revisión, son rigurosos y permiten a los investigadores tener confiabilidad en su uso. La

densidad de información de un satélite es alta en tiempo y espacio, sin embargo un satélite puede demorar en pasar por un mismo sitio más de una semana, lo que dificulta analizar eventos de corta duración, como los efectos sobre las olas por el paso de una tormenta, la cual tiene días de duración.

El análisis de la información ha mostrado que existe un ciclo anual en la climatología de olas que coincide con el comportamiento de los vientos en el hemisferio sur, esto sumado a que las mayores alturas se dan en el sur de la zona de estudio, lo que confirma que el oleaje que se presenta en la zona ecuatorial corresponde a olas tipo swell.

El análisis cualitativo realizado con eventos climáticos extremos como El Niño y La Niña, sugieren una influencia sobre la altura de olas en el año final de un evento El Niño, especialmente cuando se trata de un Niño fuerte o moderado. Aunque este patrón no se cumplió para todos los eventos moderados

## REFERENCIAS


• **Alves JHGM. 2006.** Numerical modeling of ocean swell contributions to the global wind-wave climate. Ocean Model 11:98 – 122.

• **Bauer E&S taabs C. 1998.** Statistical properties of global significant wave heights and their use for validation. J Geophys Res. 103 : 1153–1166.

• **Capps SB & Zender CS. 2008.** Observed and CAM3 GCM Sea Surface Wind Speed Distributions: Characterization, Comparison, and Bias Reduction. J Clim. 21 : 6569–6585.

• **Carter DJT. 1993.** Estimating Extreme Wave Heights in the NE Atlantic from Geostat Data. HSE Offshore Technol Reports 396 : 35pp.

• **Collard F, Ardhuin F & Chapron B. 2009.** Monitoring and analysis of ocean swell fields from space: New methods for routine observations. J Geophys Res. 114 : C07023.

• **Delpey MT, Ardhuin F, Collard F &, Chapron B. 2010.** Space-time structure of long ocean swell fields. J Geophys Res. 115 : C 12037.

• **Gentil de Farias EG, Lorenzzetti JA, Chapron B, Azevedo Correia de Souza JM. 2011.** Analysis of surface wave climate in the North Atlanctic by satellite altimeter and scatterometer. En: Anais XV Simposio Brasileiro de Sensoramiento Remoto : 7075–7081.

• **Hemer MA, Church J A& Hunter JR. 2009.** Variability and trends in the directional wave climate of the Southern Hemisphere. Int J Climatol. 30 : 475–491.

• **Holt B, Liu AK, Wang DW, Gnanadesikan A & Chen H.S. 1998:** Tracking storm-generated waves in the northeast Pacific Ocean with ERS-1 synthetic aperture radar imagery and buoys 103 (C4) : 7917–7929.

• **Izaguirre C, Méndez F J, Menéndez M, Losada IJ. 2011.** Global extreme wave height variability based on satellite data. Geophys Res Lett 38 (L10607).

• **Laing AK. 2000.** New Zealand wave climate from satellite observations. New Zeal J Mar Freshw Res. 34 : 727–744.

• **Woolf DK, Challenor P G & Cotton P D. 2002.** Variability and predictability of the North Atlantic wave climate. J. Geophys. Res. 107 (C10).

• **Young IR, Zieger S, BabaninA V. 2011.** Global trends in wind speed and wave height. Science 332 : 451–455.

• **Young IR. 1999.** Seasonal Variability of the Global Ocean Wind and Wave Climate. Int J Climatol. 19 : 931–950.

# CARACTERIZACIÓN DEL PLANCTON EN BAHÍA DE CARÁQUEZ Y EN EL ESTUARIO DEL RIO CHONE, ECUADOR DURANTE MARZO DE 2012.

María Elena Tapia [1]
Christian Naranjo [1]

## *RESUMEN*

*Las zonas marinas del Ecuador han sido estudiadas en algunos sitios, y en especial en el Golfo de Guayaquil, pero existen otros sitios como Bahía de Caráquez, Manabí que merece ser estudiada por tal motivo, se desarrolló una evaluación desde el punto de vista biológico durante el 2012.*

*Para una mejor interpretación de la caracterización a Bahía de Caráquez se lo divide en dos zonas: La primera considerada en el área marino-costera, zona que se distribuyó la mayor productividad planctónica y su diversidad de especies especialmente durante reflujo.*

*Las especies de fitoplancton dominantes fueron Chaetoceros curvisetus, Ch. radicans, L. danicus, y las especies de zooplancton fueron Sagitta bedoti, S. pacifica durante reflujo, estas especies son típicas de ambiente marino.*

*Las especies que tuvieron una amplia distribución en el ecosistema marino y estuarino fueron: Actinoptychus splendes, Thalassionema nitzschioides que son especies que se caracterizan en habitar los ecosistemas estuarinos y Pleurosigma angulatum de ambiente de rio, estas especies que se caracterizan por tener la capacidad de soportar amplios rangos de salinidad porque se podrían tipificar como especies eurihalinas.*

***Palabras Claves:*** *Variabilidad, plancton, diversidad, estuario. Bahía de Caráquez.*

## *ABSTRACT*

*Marine areas of Ecuador have been studied in some places, especially in the Gulf of Guayaquil, but other sites like Bahia de Caraquez, Manabi that deserves to be studied for that reason; an assessment was developed from the biological point of view during 2012.*

*For a better interpretation of the characterization in Bay of Caraquez it is divided into two areas: The first considered in the coastal marine area larger area than planktonic productivity and diversity of species distributed especially during reflux.*

*The dominant phytoplankton species were Chaetoceros curvisetus, Ch. radicans L. danicus, and species of zooplankton were Sagitta bedoti, S. pacifica during reflux. These species are typical of marine environments, the species that were widely distributed in the marine ecosystem and estuarine were Actinoptychus splendes, Thalassionema nitzschioides are characterized species to inhabit estuarine ecosystems and Pleurosigma angulatum river, Stuarg marine environment, these species are characterized by the ability to withstand wide ranges of salinity which could establish as euryhaline species.*

***Keywords:*** *Variability, plankton, diversity, stuary, Bahía de Caráquez.*

[1] Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur,
Presentado en el XXX Congreso Colacmar, Colombia-Octubre 2015.
EMail: maria.tapia@inocar.mil.ec – christian.naranjo@inocar.mil.ec

## INTRODUCCIÓN

Las investigaciones han determinado que en áreas de alta productividad pesquera, el plancton es muy abundante, por lo tanto es necesario conocer la distribución y composición del mismo. De esa forma se conoce la disponibilidad de alimento, y la trama de la cadena alimenticia o la transferencia de energía entre los diferentes organismos (Parsons, R, M. Takahashi & B. Margrave, 1984).

Uno de los aspectos de mayor interés en ecología ha sido, el estudio de los factores bióticos y abióticos que regulan la dinámica y estructura de las comunidades naturales. Los organismos del plancton como parte base de la pirámide alimentaria de los ecosistemas marinos.

El estuario del río Chone es sin embargo el más deteriorado tanto en la calidad del agua por descargas humanas, como en la pérdida de profundidad por sedimentación. La actividad camaronera que se desarrolla en este estuario se ha tornado una inversión de riesgo que opera al 50% de su capacidad instalada, este estuario está formado por la desembocadura del río Chone, cuyo caudal se mezcla con una gran entrante de agua marina que forma la denominada Bahía de Caráquez.

Este estuario es de gran importancia, no sólo por la diversidad de recursos naturales que posee (pesca, madera, manglares, paisaje), sino también por la variedad de actividades que en él se realizan (turismo, agricultura, acuicultura, navegación), lo que lo convierten en un sitio vulnerable. Su vulnerabilidad se debe principalmente a actividades realizadas por el hombre, sin embargo procesos concernientes con los cambios climáticos (INOCAR, 1994a), pueden también incrementar la vulnerabilidad de este sitio debido a la poca planificación de desarrollo urbano, que hasta la fecha ha existido.

La zona del río Chone tiene baja gradiente topográfica, con una sedimentación activa, la mayoría de los materiales de fondo (sustrato) son arenas y limos no consolidados y en varias combinaciones. El área estuarina con aguas de baja salinidad rodeada con abundante vegetación típica de manglar, formado principalmente por mangle blanco de reciente formación. Uno de los factores ecológicos más importantes del fondo limoso es la tendencia a retener agua de alta salinidad en cuanto baja la marea. Como resultado de este proceso, los organismos vivos dentro del sustrato son capaces de ingresar a gran distancia en el estuario.

El interés del estudio de las especies de fitoplancton y del filum quetognatos se sostiene en la importancia de las especies del grupo como indicadores de condiciones ambientales, además de ser potencialmente útiles para caracterizar desde el punto de vista biológico las condiciones ambientales y el conglomerado de grupos del zooplancton para determinar la productividad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En Bahía de Caráquez se realizaron arrastres planctónicos en la capa superficial en 15 estaciones ubicadas en 5 perfiles paralelos a la costa durante los dos estados de marea flujo y reflujo.

Los arrastres superficiales se efectuaron durante 10 minutos a una velocidad de 2 nudos, para ello se emplearon redes con características cilindro cónica simple, de 30 cm de diámetro de boca de la red y con una abertura de malla de 50*u* y 335*u* para colecta de fitoplancton y zooplancton respectivamente (Figura 1).

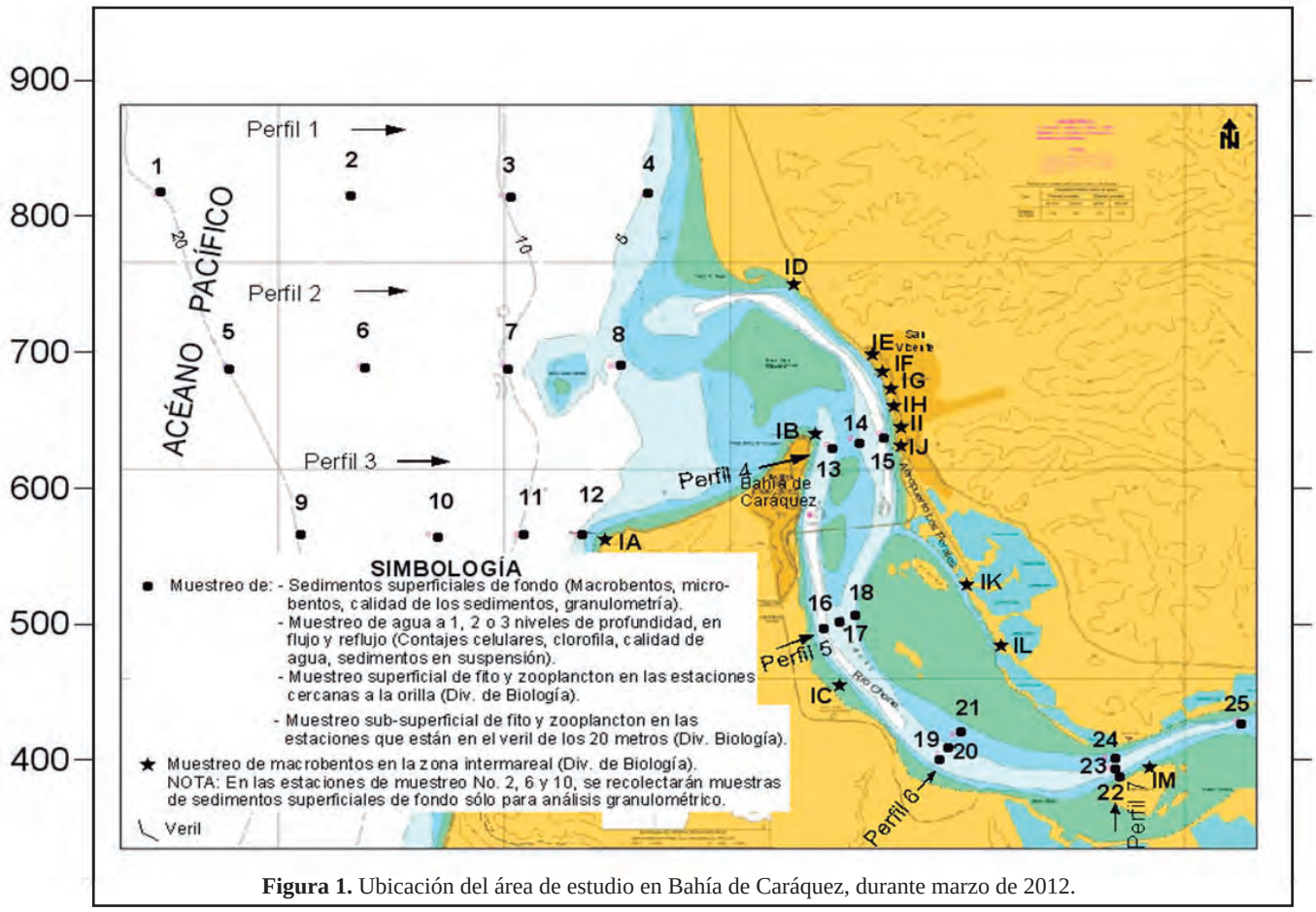



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en Bahía de Caráquez, durante marzo de 2012.

Las condiciones oceanográficas en el estuario de la zona de Bahía de Caráquez, en general se caracterizaron por presentar aguas cálidas superficiales, las temperaturas fluctúan entre 26.5° y 27.1°. Las salinidades variaron de 32.7 UPS en su desembocadura, a menos de 3.79 UPS en la parte más interna del mismo, siendo la causa de ésta el drenaje de agua dulce de los ríos Chone y Carrizal. La zona se puede dividir en dos áreas:

**Estuario exterior:** Comprendido entre la desembocadura del estuario y el meridiano 80º 24´ W, se caracteriza por encontrarse directamente influenciado por la acción de las mareas. Se encontraron en esta área salinidades comprendidas entre 30.6 UPS y 32.7 UPS. Los valores de temperatura variaron entre 26.5 y 27.0° C, las observaciones de la transparencia del agua oscilaron entre 0.98 cm a 1.0 metro de profundidad (Barragán J, Viteri P. & Ricaurte G, 1975).

**Estuario interior:** Comprendido entre los meridianos 80° 24´ W y 80° 16´ W, se caracteriza por estar directamente influenciado por los aportes fluviales de los ríos Chone y Carrizal, habiéndose obtenido valores de salinidad entre 3.79 y 25.8 UPS; los valores correspondientes a la temperatura fueron entre 25.6 y 27.1 ° C. los valores de la transparencia del agua fluctuaron entre 0.10 a 0.20 cm que caracteriza a la zona por su gran cantidad de material en suspensión (Barragán J. Viteri P.& Ricaurte G, Op.Cit).

Las muestras de plancton colectadas fueron fijadas con solución de formaldehído al 4% previamente neutralizado con tetraborato de sodio (Bórax).

Para la identificación de las taxa del zooplancton se utilizaron los Manuales de zooplancton de Tregouboff & Rose (1957), Boltovskoy (1981) y Gasca & Suárez (1996); De Boyd, (1977).

## RESULTADOS

Durante la fase de flujo a nivel superficial se registraron aguas ligeramente productivas localizadas en el Perfil 2 con rangos entre 0.20-0.36 mg/m$^3$, localizadas en las estaciones 5 y 8 respectivamente; mientras que en el estuario del río Chone también se encontraron aguas ligeramente productivas de 0.44 mg/m$^3$ localizada en la E.20 del Perfil 6 (Figura 2).

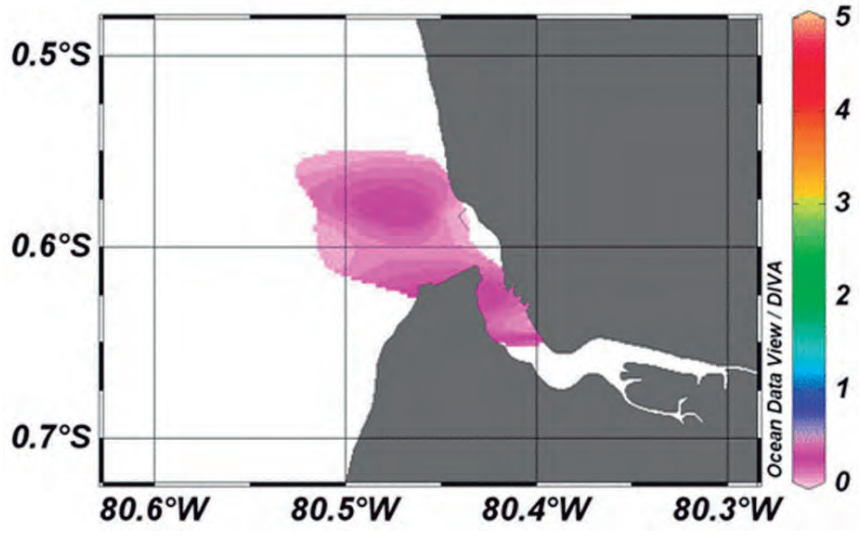



**Figura 2.** Distribución de la *clorofila a* en estuario río Chone, durante flujo en marzo-2012.

La zona marina estuvo caracterizado por las siguientes especies de fitoplancton en orden de abundancia relativa: *Chaetoceros curvisetus, Ch. radicans, Thalassionema nittzschioides, Coscinodiscus excentricus, Ch. affinis y Skeletonema tropicum.*

La mayor densidad de microalgas de la especie *Ch. curvisetus* en el estuario del Chone se encontró en las estaciones 8 y 12 con valores superior a 2800 cel/m$^3$, otra especie del género Chaetoceros presentó una elevada abundancia fue *Ch. radicans* en las estaciones 2 y 3 con valores de 1020 y 970 cel/m$^3$, en estas especies de diatomeas se observaron escasos cloroplastos lo cual está asociado a una baja productividad de la clorofila *a* (Figuras. 3-4).

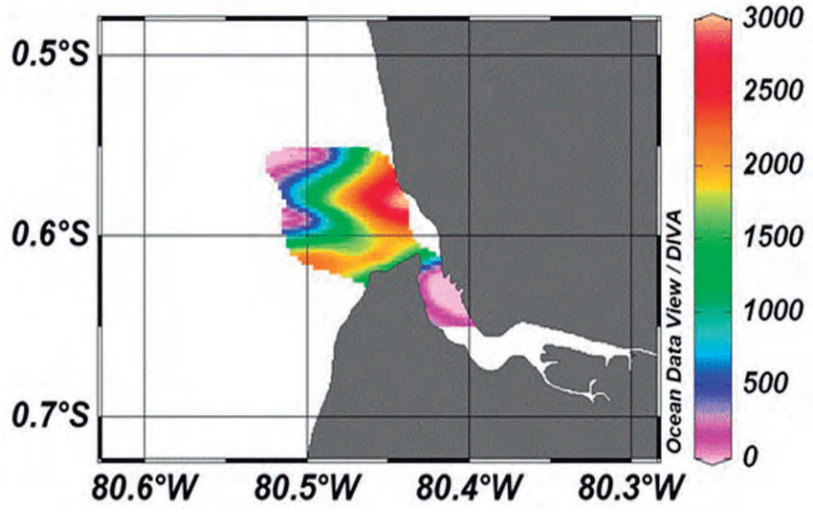



**Figura 3.** Distribución de *Chaetoceros curvisetus* en el estuario río Chone, durante marzo-2012.

Cabe resaltar en esta área se observó en flujo una temperatura entre 27.6°-27.8ºC y en reflujo entre 29.0°-29.6ºC.

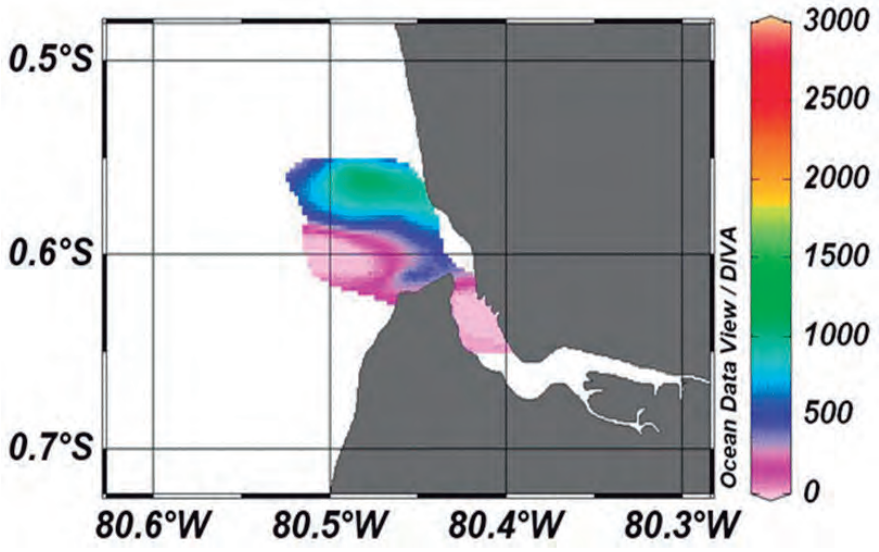



**Figura 4.** Distribución de *Chaetoceros radicans* en el estuario del río Chone, durante flujo en marzo-2012.

La especie *Leptocylindrus danicus* presentó una distribución escasa en la abundancia con valores inferior a 60 cel/m$^3$ y esta especie es característico de ambiente marino (Figura. 5).

Durante flujo la zona donde se presentó una alta riqueza de especies fueron en las estaciones 9 y 12 distribuidas en 39 diatomeas, 26 dinoflagelados, 1 silicoflagelado, 1 cianobacteria y 3 tintínnidos.

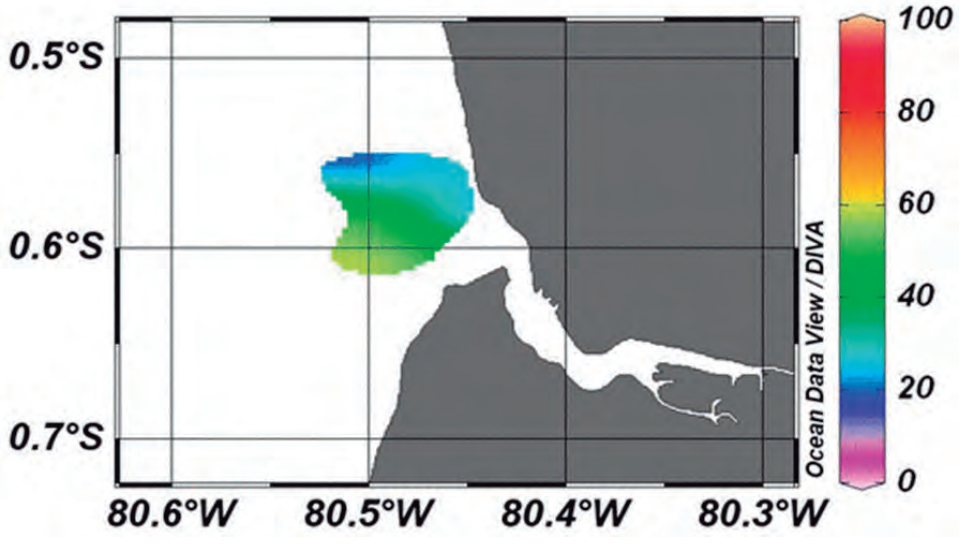



**Figura 5.** Distribución de *Leptocylindrus danicus* en el estuario del río Chone, durante flujo en marzo-2012.

La mayor concentración de células de *Thalassionema nitzschioides* se registró en la estación 5 con 2520 cel/m$^3$ cuya distribución va disminuyendo hacia el interior del estuario, con ligeros núcleos en la estaciones 9 y 10 con valores entre 1660 y 1380 cel/m$^3$. Esta especie estuarina se presenta en el estuario a manera de parches, con una mayor abundancia hacia la zona marina (Figura.6).

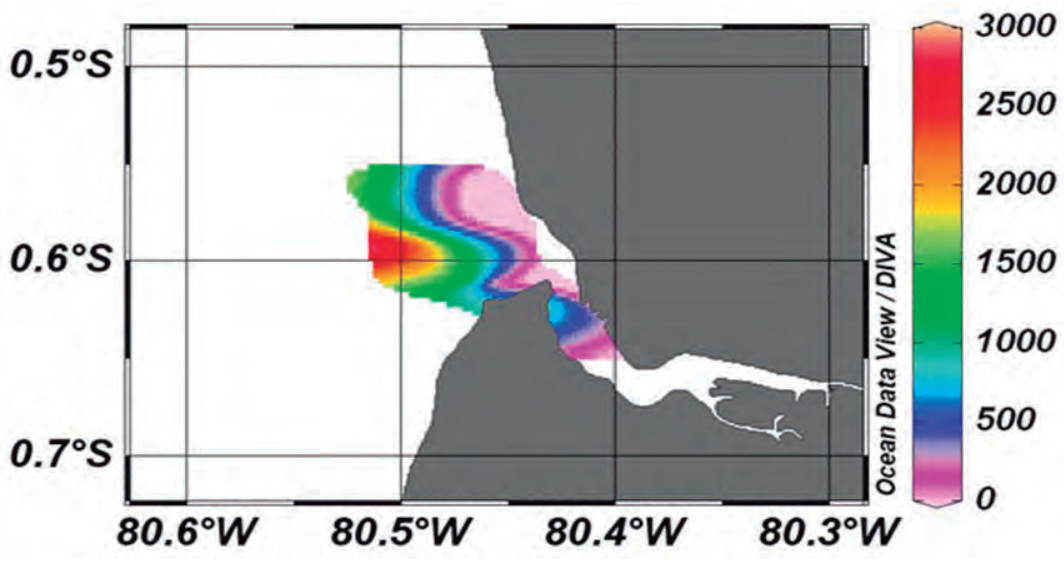



**Figura 6.** Distribución de *Thalassionema nitzschioides* en el estuario del río Chone, durante flujo en marzo-2012.

Las mayores biomasas de zooplancton se encontraron en la zona marina, en las estaciones 6 y 3 con valores entre 83630 y 48149 Org/100 $m^3$ respectivamente. Durante la fase de flujo las biomasas del zooplancton van disminuyendo paulatinamente hacia el interior del estuario de Chone. Las menores biomasas de zooplancton se encontró en la estación 25 con 31 Org/100$m^3$ (Figura.7).

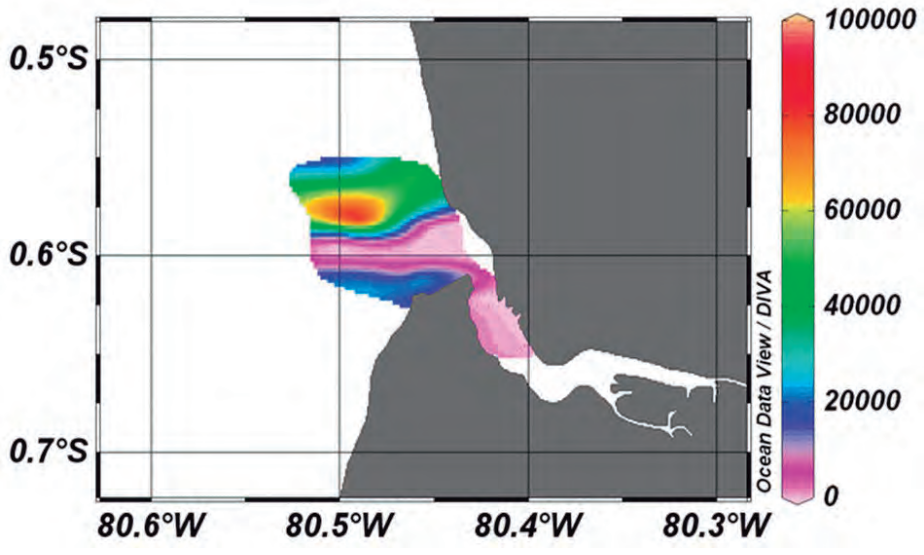



**Figura 7.** Distribución de la *biomasa del zooplancton* en el estuario del río Chone, durante flujo en marzo-2012.

La especie de quetognato con mayor distribución en la zona marina fue *Sagitta bedoti*, caracterizando una mezcla de las aguas salinas, y su mayor abundancia se registró en la estación 12 con 108 Org/$m^3$ lo que indica que esta especie puede soportar e incursionar ligeramente hacia el interior del estuario debido a la abundancia encontrada en la desembocadura del río Chone durante la época húmeda (Figura. 8).

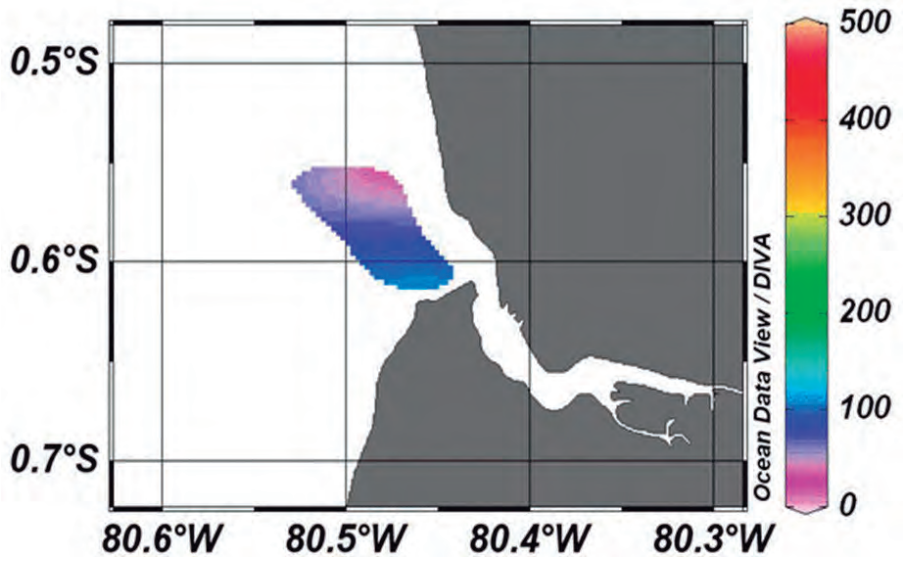



**Figura 8.** Distribución de *Sagitta bedoti* en el estuario del río Chone, durante flujo en marzo-2012.

Comparación de la distribución de las especies de fitoplancton y zooplancton durante la fase de reflujo.

En la fase de reflujo a nivel superficial se registraron aguas ligeramente productivas localizada en el Perfil 1 con 0.43 mg/m$^3$, en la E-1; mientras que en el estuario del río Chone la clorofila fue similar con 0.42 mg/m$^3$ localizada en la E.22 del Perfil 7, lo que se interpreta como una ligera productividad en este ecosistema estuarino (Figura. 9).

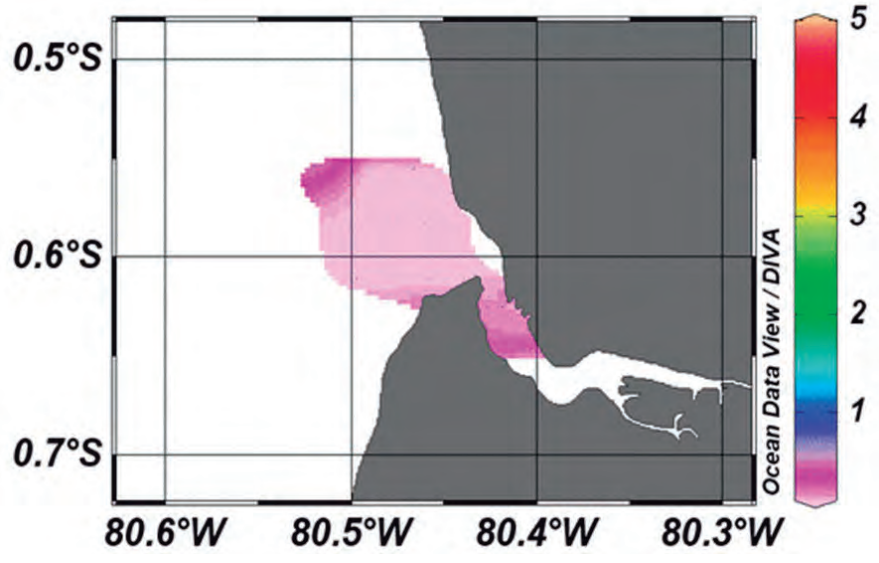



**Figura 9.** Distribución de la *clorofila* a en estuario río Chone, durante reflujo en marzo-2012.

Durante la fase de reflujo se presentaron 2 núcleos de elevada productividad zooplanctónica la primera se registró en el perfil 1, estación 3 con valores de 346098 Org/100 m$^3$ y el segundo núcleo de elevada biomasa de zooplancton se registró en la estación 12 con valores de 342792 Org/100m$^3$, de acuerdo a estos valores sugiere que la biomasa de zooplancton se presenta a pequeña escala con parches de elevada productividad siendo superior que en la fase de flujo (Figura. 10).

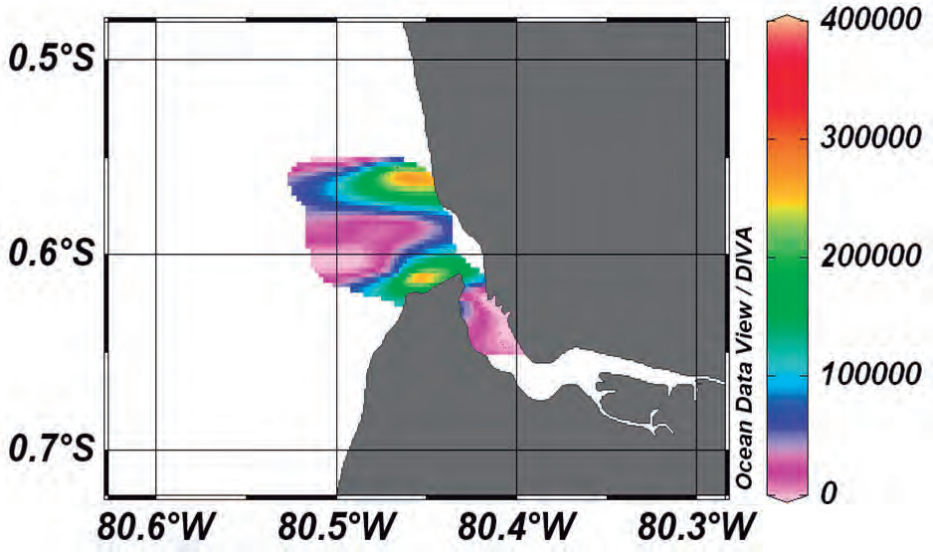



**Figura 10.** Distribución de la *biomasa del zooplancton* en el estuario del río Chone, durante reflujo en marzo-2012.

Durante reflujo se registró una diversidad de 58 especies distribuidas en 30 diatomeas, 22 dinoflagelados, 1 silicoflagelado, 1 cianobacteria, 1 clorophyta y 3 tintínnidos.

La mayor concentración de *Ch. curvisetus* se registró en la estación 1 con 2560 cel/m$^3$ y la distribución de la abundancia va disminuyendo gradualmente hacia que se acerca a la desembocadura del río Chone. La ecología de esta especie *Ch. curvisetus* es una especie típica de aguas marinas sin embargo pequeñas poblaciones de esta especie pueden a través de los estados de fase de marea ingresar ligeramente hacia el interior del río Chone (Figura.11).

En tanto que la especie marina *Ch. radicans* se presentó en la estación 1 hasta la estación 14 con bajas densidades poblacionales siendo las estaciones 3 y 11 que se presentó los máximos valores entre 58 y 39 cel/m$^3$. Es probable que las condiciones no sean tan favorables para desarrollarse durante la época húmeda (Figura.12).

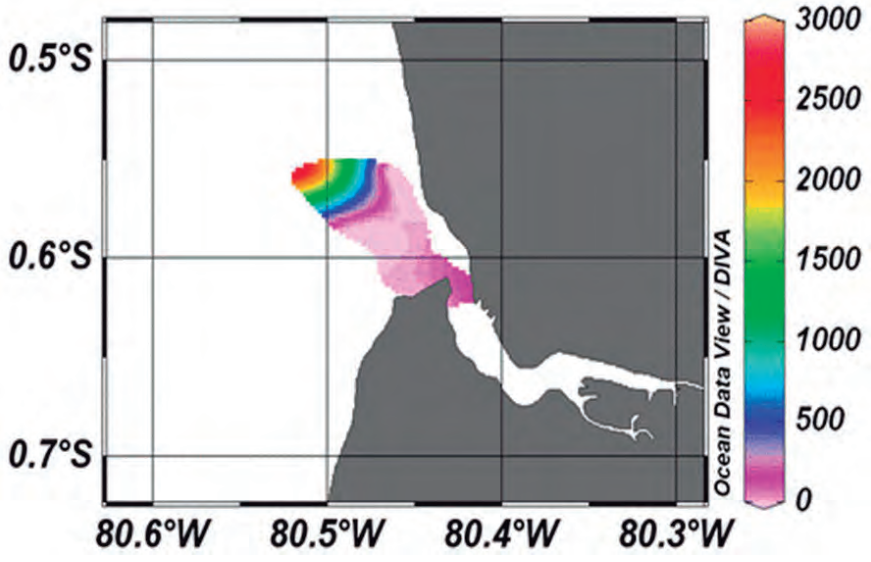



**Figura 11.** Distribución de *Chaetoceros curvisetus* en el estuario del río Chone, durante reflujo en marzo-2012.

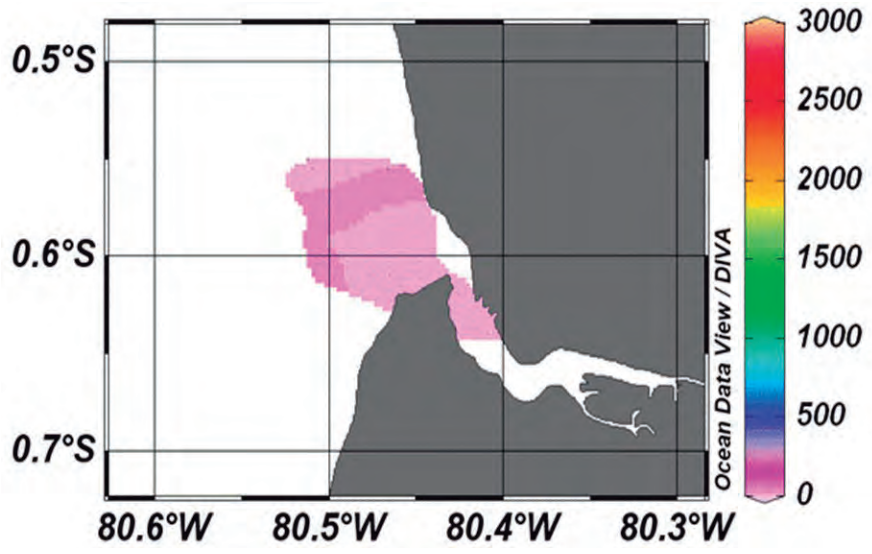



**Figura 12. Distribución de** *Chaetoceros radicans* **en el estuario del río Chone, durante reflujo en marzo-2012.**

En reflujo la especie *Actinoptychus splendes* presentó una distribución amplia hacia el exterior del río Chone con valores superiores a 100 cel/100 $m^3$, esta especie se caracteriza por ser eurihalina debido a su distribución desde el interior del rio hacia el exterior del estuario que guarda relación con una distribución superficial en sentido de la fase de reflujo (Figura.13).

Considerando que *A. splendes* es una especie típica de ambiente estuarino, puede adaptarse a un ambiente marino debido a su capacidad de ser eurihalina, para soportar amplios rangos de salinidad. La mayor abundancia de A. splendes se encontró en la estación 20 con 1480 cel/$m^3$ ubicado hacia el interior del estuario del rio Chone.

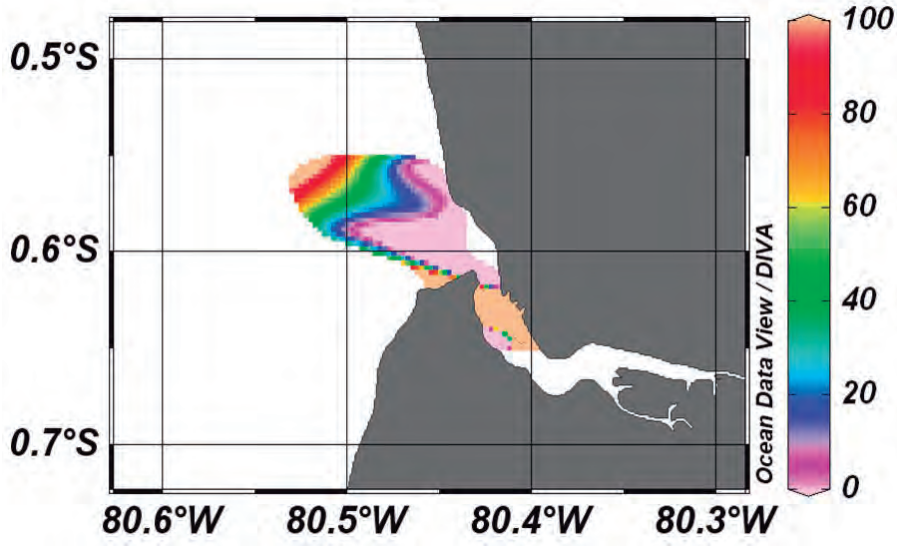



**Figura 13.** Distribución de *Actinoptychus splendes* en el estuario del río Chone, durante reflujo en marzo-2012.

*Leptocylindrus danicus* presentó una escasa abundancia con valores que fluctuaron entre 26 cel/$m^3$ en la desembocadura del estuario, la cual no se presentó hacia el interior del estuario. Esta especie es típica de ambiente marino y durante marzo fue escasa en comparación a *Chaetoceros curvisetus* y *Ch. radicans* que son especies típicas de ambiente marino (Figura.14).

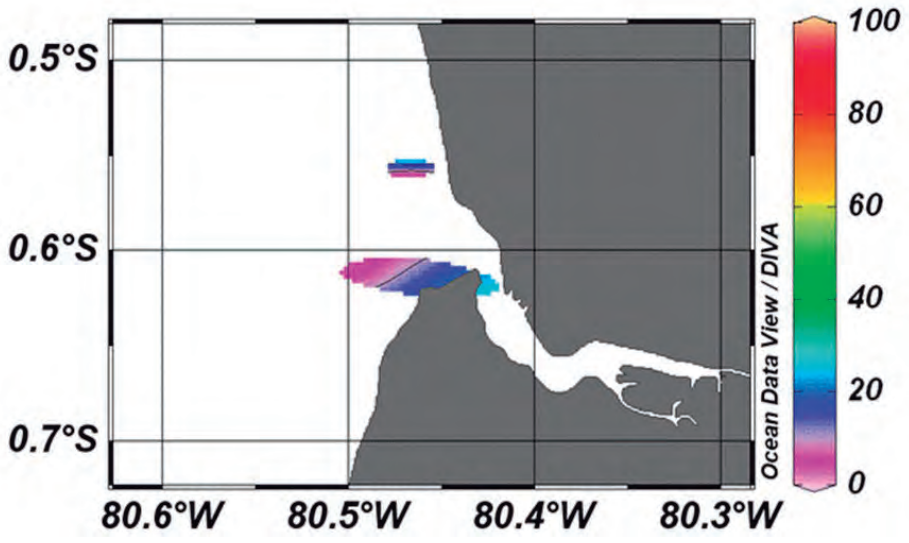



**Figura 14.** Distribución de *Leptocylindrus danicus* en el estuario del río Chone, durante reflujo en marzo-2012.

La especie *Pleurosigma angulatum* se caracteriza por tener una amplia distribución de ambientes de agua dulce, estuarios y marino debido a su capacidad de soportar diferentes ambientes se puede señalar que es una especie eurihalina, como se muestra en la Figura 15. presentó su mayor abundancia en las estaciones 9, 10 y 11 con valores entre 320 a 450 cel/100 m3 durante la fase de reflujo.

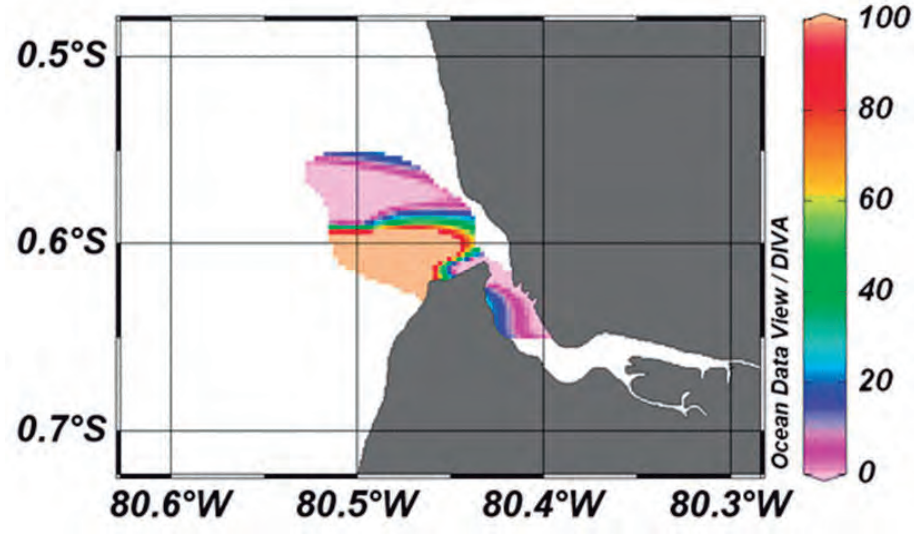



**Figura 15.** Distribución de *Pleurosigma angulatum* en el estuario de Bahía de Caráquez, durante reflujo en marzo-2012.

Las especies de quetognatos son exclusivamente marinas, *Sagitta bedoti* se caracteriza por ser una especie eurihalina sin embargo su distribución no incursionó hacia el interior del estuario del rio Chone. En vista que esta especie ha sido reportada en el estuario del Golfo de Guayaquil, debido a que soporta amplios rangos de salinidad. La mayor abundancia se registró en la estación 3 con 280 Org/100m$^3$ (Figura. 16).

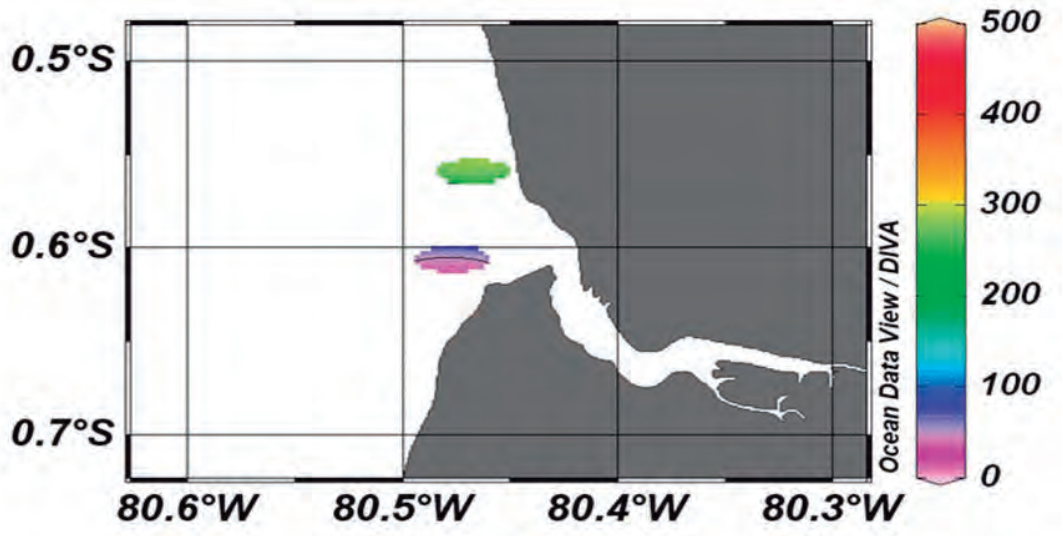



**Figura 16.** Distribución de *Sagitta bedoti* en el estuario del río Chone, durante reflujo en marzo-2012.

Otra especie de quetognato que se registró en la fase de reflujo fue *Sagitta pacifica* que es una especie de ambiente marino y se registró en la estación 1 con 36 0rg/100m$^3$, esta es una especie típica de aguas oceánicas que llegó hacia la costa (Figura. 17).

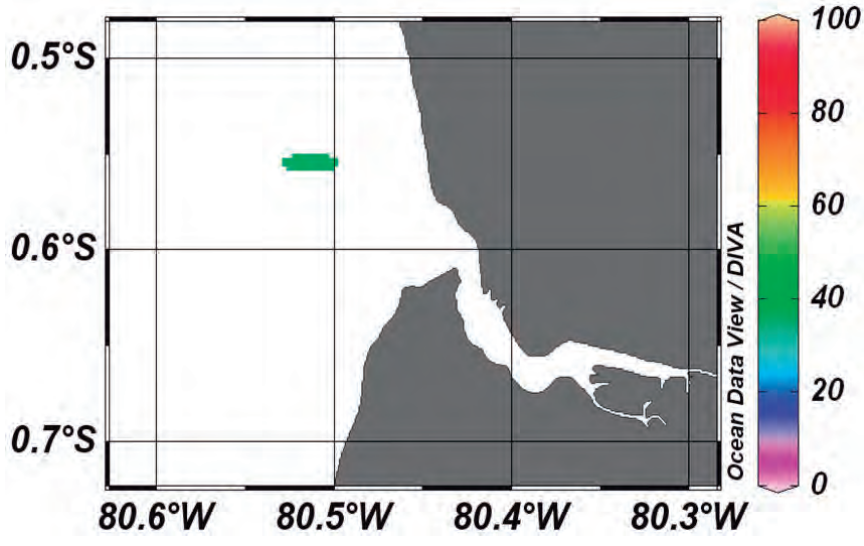



**Figura 17.** Distribución de *Sagitta pacifica* en el estuario de Bahía de Caráquez, durante reflujo en marzo-2012.

## DISCUSIONES

Existen pocos estudios de la composición, distribución planctónica realizados en Bahía de Caráquez, sin embargo se realizó una comparación relativa de investigaciones desarrolladas en sitios cercanos a Bahía de Caráquez.

En el área marina de Bahía de Caráquez se determinó la dominancia de las especies *Chaetoceros curvisetus, Ch. radicans, L. danicus*, esta asociación de especies son típicas de ambientes neríticos, mientras en el estuario se reportaron las especies *Thalassionema nitzschioides Actinoptychus splendes* son características de ambiente estuarino durante flujo.

Las especies de quetognatos reportadas fueron: *Sagitta bedoti*, tiene una moderada abundancia y *S. enflata* con una baja abundancia que son

especies típicas de ambiente marino durante la fase de flujo. Estas especies se caracterizan por tener la capacidad de ser eurihalinas y euritérmicas respectivamente.

Tapia (2007), menciona en un estudio realizado en Manta durante 1999 registró un total de 109 especies y para el año 2000 un promedio de 119 especies.

Prado & Cajas (2007), en un estudio realizado en Puerto López encontraron que la abundancia fitoplanctónica por estratos de los 10 m de profundidad fueron las densidades más altas, y fueron menores en superficie, exceptuando en junio que presentó una distribución homogénea en la columna desde la superficie hasta los 30 m. En abril y junio se observó una importante actividad algal hasta los 50 m de profundidad.

Por su parte, durante reflujo se presentó aguas ligeramente productivas en la zona marina con 0.43 mg/$m^3$ y en el interior del estuario del fitoplancton con un valor de 0.42 mg/$m^3$, asociado a esta condición biológica se determinó una elevada productividad en términos de biomasa de zooplancton dos núcleos de elevada biomasa zooplanctónica con valores superior a 340000 Org/100 $m^3$ conformado principalmente en la zona marina por los grupos Copépodos, zoeas de brachiuras, huevos de peces, larvas de eufáusidos y en baja abundancia las taxa quetognatos, cladóceros, ostrácodos. Esta elevada productividad secundaria se debe a la presencia de organismos de zooplancton y se considera una zona marina eminentemente productiva.

Las especies de quetognatos durante reflujo fueron: *Sagitta bedoti* y *S. pacifica* que son especies que caracterizan un ambiente marino, existe una dinámica del ecosistema marino lo que con lleva a establecer la composición de las especies o grupos, productividad primaria y secundaria cambian en función del tiempo y espacio.

En comparación a estudios realizados en la costa ecuatoriana, se establece que el área de Jaramijó: Tapia (2010-2011), encontró una ligera productividad durante la época húmeda con rangos entre 0.84-1.22 mg/$m^3$ en la fase de flujo y entre 0.82-1.14mg/$m^3$ en la fase de reflujo.

Tapia (2013b), determinó a nivel subsuperficial la máxima diversidad de fitoplancton y se registró en la Región Central de Manabí determinándose un total de 56 especies en dicha área. En Bahía de Caráquez se determinó una alta riqueza de especies de fitoplancton con un total de 70 y 58 especies de fitoplancton durante las bases de flujo y reflujo respectivamente.

## CONCLUSIONES

- La caracterización del fitoplancton y zooplancton en Bahía de Caráquez demuestra que durante reflujo se presentó una ligera productividad primaria asociada a núcleos de alta biomasa de zooplancton durante marzo de 2012.

- Esta información permite interpretar que existe una variabilidad en las especies de fitoplancton y zooplancton que varían en función de tiempo y espacio la cual está influenciado por factores: Estacional, abióticos, estados de marea y disponibilidad de alimentos.

- Para una mejor interpretación de la caracterización en Bahía de Caráquez se lo divide en dos zonas: La primera considerada en el área marino-costera, zona que se distribuyó la mayor productividad planctónica y su diversidad de especies especialmente durante reflujo.

- Las especies de fitoplancton dominantes fueron *Chaetoceros curvisetus, Ch. radicans, L. danicus,* y las especies de zooplancton fueron *Sagitta bedoti, S. pacifica* durante reflujo. Estas especies son típicas de ambiente marino.

- Las especies que tuvieron una amplia distribución fueron en el ecosistema marino y estuarino fueron: *Actinoptychus splendes* y *Thalassionema nitzschioides* que son especies

que se caracterizan por habitar en los ecosistemas estuarinos y *Pleurosigma angulatum* de ambiente de río, se distribuyó en el Estuario hacia un ambiente marino costero estas especies que se caracterizan por tener la capacidad de soportar amplios rangos de salinidad por que se podrían tipificar como especies eurihalinas.

## BIBLIOGRAFÍA

**Avaria., S. 1965.** Diatomeas y Silicoflagelados de la Bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina, Valparaíso 12: 61-120.

**Barragán J. Viteri P., y Ricaurte G. 1975.** Investigaciones Biológicas y Oceanográficas preliminares del estuario del río Chone. Informativo Especial No.3. Instituto nacional de Pesca. Guayaquil- Ecuador: 1-12.

**Boltovskoy, D. 1981.** Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y método de trabajo con el zooplancton marino. Mar del Plata. Argentina. 3-859 p.

**De Boyd, S. 1977.** Guide to Marine Coastal plankton and invertebrate larvae. Departament of biology west valley community college, California: 157.

**Cupp, E., 1943.** Marine plankton diatomns of west coast. Bulletin Scripps Institution of Oceanography of the University of California. Eds H. Sverdrup, R. Fleming, L. Miller,5(1): 1-238.

**Gasca, R. & E. Suárez. 1996.** Introducción al Zooplancton Marino. ECOSUR-CONACYT, México: 1-711.

**Gualancañay E., M, Tapia, C. Naranjo, M. Cruz, F. Villamar. 2010-2011.** Caracterización biológica de la bahía de Jaramijó en la costa Ecuatoriana, 2008. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR. Vol. 16(1): 33-52.

**INOCAR, 1994a.** Evaluación de vulnerabilidad de áreas costeras al incremento del nivel del mar, área de estudio: estuario del río Chone provincia de Manabí:40. Instituto Oceanográfico de la Armada.

**Naranjo C., & M. Tapia 2013.** Variabilidad estacional del Plancton en la Bahía de Manta, Ecuador durante el 2011. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. 18(1):65-74.

**Naranjo & Tapia. 2014.** Productividad planctónica en la Bahía de Pedernales, Manabí-Ecuador durante el 2013. Acta Oceanográfica del Pacífico, Volumen 19, No.2, páginas 31-42.

**Parsons, R., M. Takahashi& B, Margrave. 1984.** Biological oceanographic processes, Pergamon Press, London: 330.

**Prado M. y J. Cajas. 2007.** Plancton de la zona marino costera del Ecuador durante octubre de 2006. Reunión Nacional sobre Pesquerías. INP. Mayo de 2007.

**SCOR UNESCO Working group 17, 1966.** Determination of photosynthetic pigments in the sea water. Monographs on oceanographic methodology, 1, UNESCO: 8-9.

**Tapia M., 2007.** Variabilidad temporal del fitoplancton en áreas costeras del mar ecuatoriano y su interrelación con el evento " La Niña 1999-2000". Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Ecuador, 14(1): 37-48.

**Tapia M., 2013.** Composición y distribución del Fitoplancton durante la Prospección Sísmica en la costa Ecuatoriana, Diciembre de 2008. Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Ecuador, 17(1).

**Tregouboff, G. & M. Rose. 1957.** Manuel de Planctonologie Mediterramene. Centro National de la Research Scientifique, París. Tomo 2.

# PLANCTON EN EL CANAL BOLÍVAR DE LA ISLA ISABELA (CALETA TAGUS), ISLAS GALÁPAGOS DURANTE MARZO DE 2009.

Christian Naranjo [1]
María Elena Tapia [1]

## RESUMEN

Se presentan las investigaciones de clorofila *a*, contajes celulares y análisis cualitativos (red 50 u), que utilizados simultáneamente aportaron valiosa información ecológica sobre la comunidad del fitoplancton realizadas en 14 estaciones del Canal Bolívar de las Islas Galápagos efectuado en marzo de 2009.
Se identificaron 50 especies en muestras de agua y 22 especies en muestras de (red 50u), en la comunidad del fitoplancton. Las diatomeas fueron dominantes y en menor concentración los dinoflagelados, cocolitofóridos, flagelados y tintinnidos
Las especies de mayor ocurrencia en el área en estudio fueron *Thalassiosira subtilis, Pseudo-nitzschia delicatissima y Mesodinium rubrum*. En muestras de (red 50 u), se registraron especies típicas de ambiente marino: *Chaetoceros peruvianus, Ch. curvisetus* indicadoras de masas de aguas frías y oceánicas, asociadas a estas especies se observó la presencia de *Thalassiotrix frauenfeldii, Pseudo-nitzchia delicatissima y Rhizosolenia hebetata* consideradas diatomeas típicas de masas de neríticas y frías.
En cuanto a los grupos del zooplancton se encontraron, Copépodos, larvas de eufaúsidos, larvas de poliquetos, zoeas de brachiuras y huevos de peces.

**Palabras Claves:** Biomasa, comunidad, fertilidad, plancton, islas Galápagos.

## ABSTRACT

Investigations of chlorophyll a, cell counts and qualitative analysis (red 50 u), which are used simultaneously provided valuable ecological information on the phytoplankton community conducted at 14 stations Bolivar Channel Galapagos made in March 2009 are presented. 50 species in water samples and 22 species in samples (50u network), phytoplankton community were identified. Diatoms were dominant, and the lower concentrations were dinoflagellates, coccolithophores, flagellate and tintinnidos.
The most commonly occurring species in the study area were *Thalassiosira subtilis*, and *Pseudo-nitzschia delicatissima Mesodinium rubrum*. In samples (red 50 u) , typical species of marine environment were recorded : *Chaetoceros peruvianus, Ch curvisetus* mass indicator and cold ocean waters , associated with the presence of these species *Thalassiotrix frauenfeldii, Pseudo- Nitzschia delicatissima* and *Rhizosolenia hebetata* was observed considered typical mass and cold neritic diatoms.
As groups of zooplankton were found to copepods, larvae euphausiids, polychaete larvae, zoeae of brachiuras and fish eggs.

**Keywords:** Biomass, comunity, fertility, plancton, islands Galapagos.

Instituto Oceanográfico de la Armada, Email:maria.tapia@inocar.mil.ec-christian.naranjo@inocar.mil.ec.

## INTRODUCCIÓN

Las islas Galápagos constituyen uno de los más complejos, diversos y únicos archipiélagos oceánicos del mundo que aún mantiene su ecosistema y biodiversidad sin grandes alteraciones. El clima, las corrientes marinas y su aislamiento geográfico e histórico han dado cabida a un alto grado de diversidad biológica y endemismo.

La corriente marina de Cromwell o Subcorriente Ecuatorial que aflora cuando toca la Plataforma de Galápagos y es la responsable de la riqueza de la vida marina en Fernandina y parte occidental de Isabela; y la Corriente de Panamá o del Niño que son aguas cálidas que en algunos años fluyen más de lo normal y producen el evento de El Niño, todo este sistema de corrientes tiene influencia en el clima del área de estudio.

Existe poca información de estudios planctónicos relacionados directamente con las Bahías de las islas Galápagos. Uno de los aportes principales son los efectuados por Maxwell (1974), quien realizó estudios de productividad biológica mediante mediciones de *clorofila* a alrededor de la isla Isabela.

Se han desarrollado estudios de plancton alrededor de las islas Galápagos en diferentes épocas del año, sin embargo estudios puntuales de plancton en la Caleta Tagus de la isla Isabela no se han efectuado.

En cuanto a estudios desarrollados con Zooplancton en cruceros oceanográficos se resalta el estudio de los Quetognatos alrededor de las Islas Galápagos Naranjo, (2000) menciona la dominancia de las especies *Sagitta enflata* y *S. pacifica* consideradas a estas especies cosmopolitas que pueden habitar en regiones neríticas y oceánicas.

Otra evidencia de los cambios temporales en la comunidad del zooplancton, son los resultados obtenidos en la caleta Aeolian, isla Baltra, se encontraron las especies dominantes y frecuentes en la mayoría de las estaciones en el área de estudio corresponden al género *Sagitta* representados por las especies *Sagitta neglecta* seguidos en orden de abundancia *S. bedoti* y *S. pacifica* la cual está íntimamente asociados con valores de temperatura que fluctuaron entre 25.5º a 26.8 ºC (Naranjo &Tapia, 2007).

Arcos y Bonilla (1989), estudiaron la variación temporal del zooplancton de una estación fija en Bahía Academia (isla Santa Cruz), durante el período 1986-1988, estableciendo relaciones con la temperatura superficial del mar. Determinando que los principales grupos que componen el zooplancton fueron los copépodos, larvas de decápodos, huevos de peces, ostrácodos, pterópodos y apendicularios.

Por sus características de formación, su localización que recibe la influencia de varias corrientes marinas, la diversidad biológica marina, el endemismo de su flora y fauna terrestre, por la presencia de procesos evolutivos no alterados, fue declarada Patrimonio Natural de la Humanidad, Reserva de la Biósfera y parte de los humedales de la Convención Ramsar (Instituto Nacional Galápagos, 1997).

Tapia & Naranjo (2012), resaltan la presencia de *Pseudo-nitzschia delicatissima, Chaetoceros curvisetus, Ch. peruvianus, Thalassiosira subtilis* y *Thalassiotrix frauenfeldii* especies indicadoras de afloramientos observadas a los 1.5 y 2.5º Sur al oeste de las Islas Galápagos y que tipifican la presencia de la Corriente de Cromwell.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área comprende 6 áreas distribuidas en 14 estaciones, limitadas por las siguientes coordenadas:

**Tabla 1.** Coordenadas geográficas de la ubicación de las estaciones, que se realizaron a bordo de la Lancha Guadalupe River y de otra embarcación menor, las mismas que pertenecen al Parque Nacional Galápagos

| ESTACIÓN | LUGAR | LATITUD GRADOS | LATITUD W | TEMPERATURA GRADOS | DISCO SECCHI METROS |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | LOS COLORADOS | 00º26´39”S | 91º13´99”W | 25.1 | 5 |
| 2 | CERRO COLORADO | 00º28´59”S | 91º13´46”W | 23.5 | 6 |
| 3 | CALETA TORTUGA NEGRA-NORTE | 00º12´32”S | 91º23´51”W | 23.0 | 14 |
| 4 | CALETA TORTUGA NEGRA-CENTRO | 00º12´97”S | 91º23´29”W | 22.5 | 14 |
| 5 | CALETA TORTUGA NEGRA-SUR | 00º11´85”S | 91º23´24”W | 23.5 | 10 |
| 6 | PUNTA ESPINOZA- NORTE | 00º15´64”S | 91º26´29”W | 23.2 | 4 |
| 7 | PUNTA ESPINOZA- CENTRO | 00º15´87”S | 91º26´17”W | 21.5 | 7 |
| 8 | PUNTA ESPINOZA- SUR | 00º16´59”S | 91º26´19”W | 22.0 | 7 |
| 9 | CALETA TAGUS-NORTE | 00º16´13”S | 91º22´71”W | 21.0 | 9 |
| 10 | CALETA TAGUS-CENTRO | 00º15´82”S | 91º22´30”W | 22.5 | 8 |
| 11 | CALETA TAGUS-SUR | 00º16´30”S | 91º22´21”W | 22.5 | 10 |
| 12 | LOS CAÑONES-NORTE | 00º19´42”S | 91º20´53”W | 23.5 | 7 |
| 13 | LOS CAÑONES-CENTRO | 00º19´78”S | 91º20´51”W | 23.0 | 5 |
| 14 | LOS CAÑONES-SUR | 00º19´31”S | 91º20´52”W | 24.0 | 7 |

El área marítima alrededor de las islas Galápagos, que forma parte del Pacífico Ecuatorial Oriental, presenta características océano-atmosféricas muy particulares como producto de la interacción de varias masas de agua (Figura 1). El Archipiélago de origen volcánico tiene un interés científico y turístico mundial por su ecosistema único, se extiende desde el paralelo 1º40´norte con la isla Darwin hasta 1º30´sur con la isla Española, y desde el meridiano 89º W con la isla San Cristóbal hasta el meridiano 92°W con la isla Darwin, Knauss (1966).

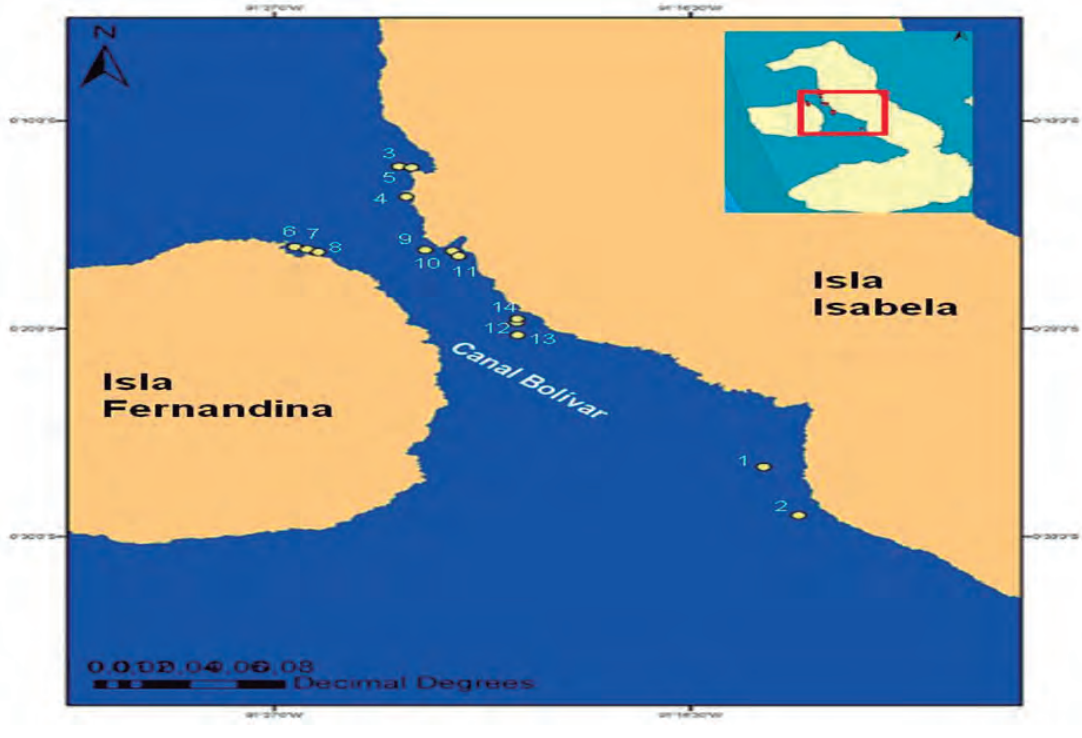



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones realizadas en marzo 2009 en el Canal Bolivar, situado entre las Islas Fernandina e Isabela (Islas Galápagos).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Clorofila *a*: Se colectaron muestras de agua con la botella Van Dorn en tres niveles de profundidad: Superficie, medio y fondo (0, 5, y 10 m de profundidad).

La cantidad de muestras de agua marina para Clorofila fue de 1000 ml, las muestras fueron filtradas con una bomba al vacío a través de filtros de fibra de vidrio Whatman (0.40 micras), previamente envuelto con papel aluminio y llevada en refrigeración por 24 horas.

Biomasa celular: Para realizar los contajes celulares se colectaron muestras de agua con la botella Van Dorn en tres niveles de profundidad: Superficie, medio y fondo. Las muestras fueron colocadas en frascos de 250 ml y posteriormente se preservaron con solución de Lugol.

Fitoplancton y Zooplancton (Red 50 y 335 µ): En las estaciones ubicadas en el Canal Bolívar, Galápagos se realizaron arrastres planctónicos en la capa superficial y en la columna de agua. Los arrastres superficiales se efectuaron durante 10 minutos a una velocidad de 2 nudos, para ello se emplearon redes de 30 cm de diámetro con una abertura de malla de 50 y 335µ.

Los arrastres verticales se realizaron en las estaciones que presentaron una profundidad superior a 10 m de profundidad. Se utilizaron flujómetros previamente calibrados, los cuales fueron colocados en la boca de la red, con la finalidad de registrar las revoluciones iníciales y finales durante cada lance. Empleando estos datos permitirá determinar el volumen de agua filtrada de cada uno de los lances.

Luego de colectada las muestras de fitoplancton y zooplancton fueron fijadas con solución de formaldehído al 4% previamente neutralizados con Tetraborato de sodio (Bórax).

Transparencia (Disco Secchi): Se lanza un disco metálico de 30 cm de color blanco hasta que la percepción visual no sea observada, para lo cual se procede a dejar caer en el agua atado a una cuerda medida. Luego se procede a contar desde los centímetros hasta los metros de izado del instrumento (Disco Secchi), hasta que llegue a la superficie, este instrumento determina la incidencia de la luz solar. La turbidez es un factor importante en la concentración de la biomasa del fitoplancton y guarda una relación inversamente proporcional al fitoplancton.

## RESULTADOS

### Clorofila a:

"Área 1"Estación 1- Los Colorados: Se registraron concentraciones de 0.26 mg/m$^3$ en superficie. En el estrato del medio se observaron bajas concentraciones con 0.22 mg/m$^3$. En el estrato del fondo se registraron valores moderados de 0.28 mg/m$^3$. Los menores valores estuvieron en el estrato del medio con 0.22 mg/m$^3$ (Figura 2).

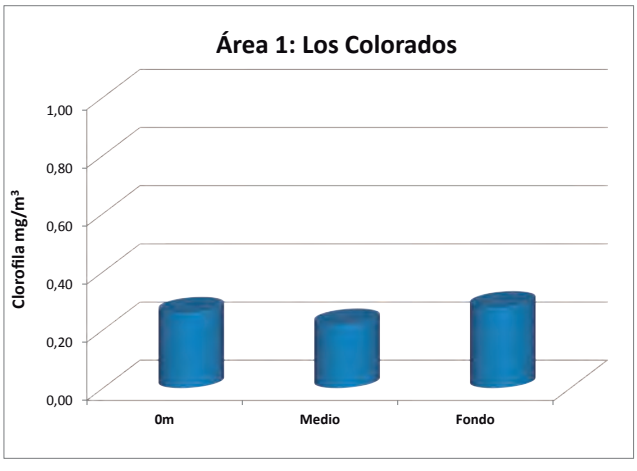



**Figura 2.** Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Área 1: Los Colorados, durante marzo de 2009.

**"Área 2" Estación 2 Cerro Colorado:** Se registraron aguas ligeramente productivas con concentraciones de 0.24 mg/m$^3$ a nivel superficial. En el estrato del medio, se observaron ligeros incrementos con 0.26 mg/m$^3$. En el estrato de fondo se registraron ligeras disminuciones con rangos entre 0.22 mg/m$^3$ Los menores valores estuvieron en el estrato del fondo con 0.22 mg/m$^3$ (Figura 3).

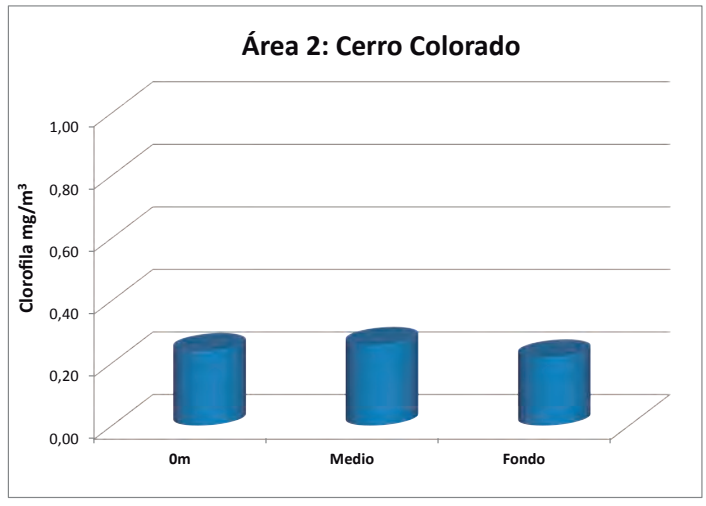



**Figura 3.** Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Área 2: Cerro Colorado, durante marzo de 2009.

**"Área 3" Estaciones 3 a 5 Caleta Tortuga Negra:** Se registraron en las estaciones 3-4 concentraciones ligeramente productivas con rangos entre 0.32-0.34 mg/m$^3$ a nivel superficial. En el estrato del medio (E.3-4), se observaron ligeros incrementos de 0.45-0.48 mg/m$^3$. En el estrato del fondo (E.3-5) se registraron concentraciones entre 0.55 -0.56 mg/m$^3$. En el estrato del medio la menor concentración se registró en la estación 5 con 0.12 mg/m$^3$ (Figura 4).

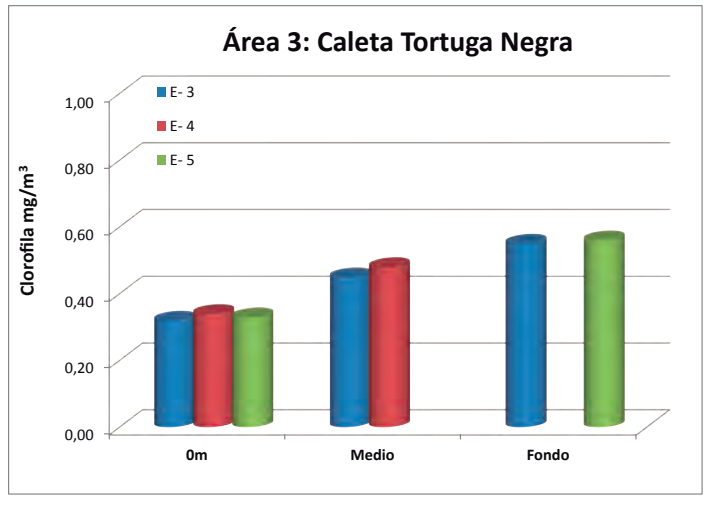



**Figura 4.** Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Área 3: Caleta Tortuga Negra, durante marzo de 2009.

**"Área 4" Estación 6 a 8 Punta Espinoza:** Se registraron en las estaciones 6 y 8 aguas ligeramente productivas con concentraciones entre 0.47-0.49 mg/m$^3$ en superficie. En el estrato del medio (E. 6), se observó un ligero incremento con 0.52 mg/m$^3$. En el estrato del fondo se registraron valores ligeramente productivos de 0.49 mg/m$^3$ . Los menores valores estuvieron en el estrato del fondo con 0.14-0.19 mg/m$^3$ (Figura 5).

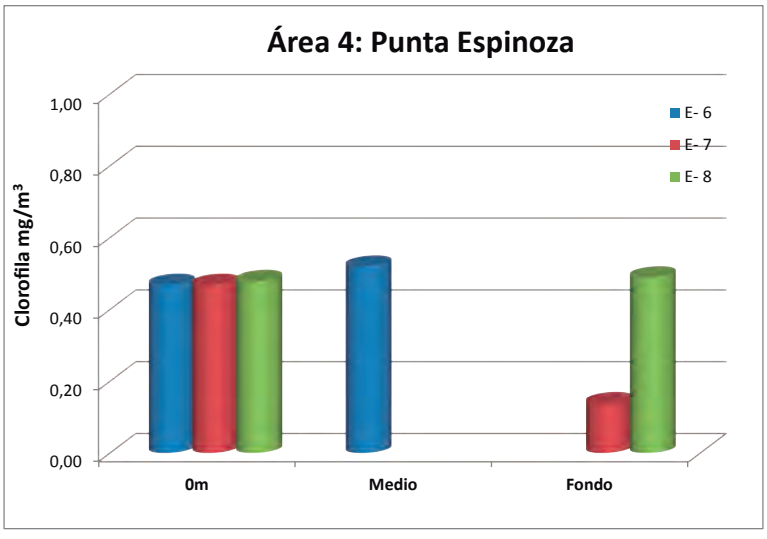



**Figura 5.** Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Área 4:Punta Espinoza, durante marzo de 2009.

**"Área 5" Estación 9 a 11 Caleta Tagus:** Se registró en la estación 9 aguas ligeramente productivas con concentraciones de 0.35 mg/m$^3$ a nivel superficial. En el estrato del medio, se observaron ligeros incrementos con 0.26 mg/m$^3$. En el estrato de fondo se registraron ligeras disminuciones con 0.19 mg/m$^3$ en la estación 10. La menor concentración se registró en el estrato del fondo con 0.12 mg/m$^3$ (Figura 6).

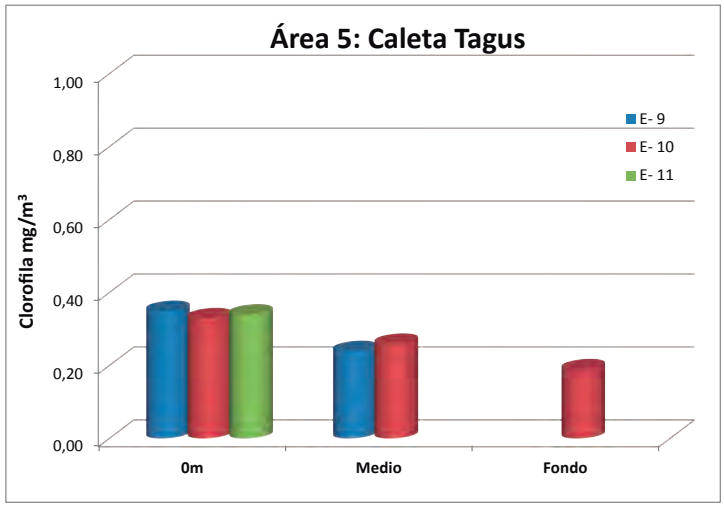



**Figura 6.** Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Área 5: Caleta Tagus, durante marzo de 2009.

**"Área 6" Estaciones 12 a 14 Los Cañones:** Se registró en la estación 13 aguas ligeramente con 0.33 mg/m$^3$ a nivel superficial. En el estrato del medio (E.13), se observó un núcleo de clorofila con 0.87 mg/m$^3$. En el estrato del fondo (E.12) se registró un parche de clorofila de 0.89 mg/m$^3$. La menor concentración se registró en el estrato del fondo con 0.18 mg/m$^3$ localizada en la estación 14 (Figura 7).

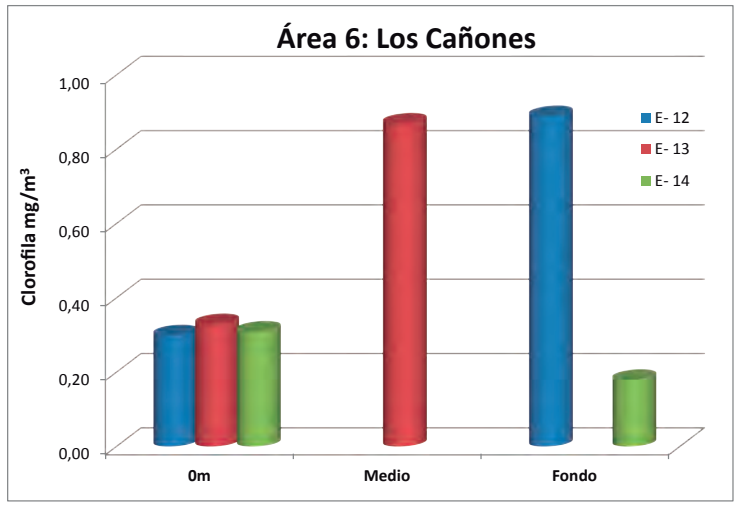



**Figura 7.** Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Área 6 : Los Cañones, durante marzo de 2009.

**Fitoplancton (Red 50u): Arrastres Superficiales.**

**"Área 1 "Estación 1 - Los Colorados:** Se registró una diversidad de 33 especies distribuidas en 21 diatomeas, 9 dinoflagelados, 3 tintínnidos.

La abundancia relativa de las especies estuvo representada de la siguiente manera: *Chaetoceros peruvianus* 21,8% *Ch. curvisetus* 20,7%, *Pseudo-nitzschia delicatissima* 17,5 %, *Ch. affinis* 16,4%, *Thalassiotrix frauenfeldii* 14,3% y otros 9,3% (Figura 8).

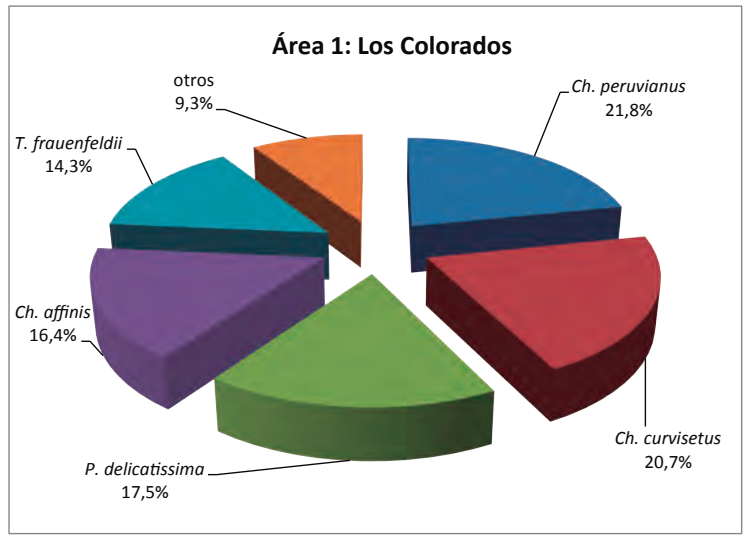



**Figura 8.** Abundancia relativa Superficial del Fitoplancton en el Area 1: Los Colorados, durante marzo de 2009.

**"Área 2 "Estación 2- Cerro Colorado:** Se registró una diversidad de 36 especies distribuidas en 21 diatomeas, 15 dinoflagelados.

La abundancia relativa de las especies estuvo representada de la siguiente manera: *Chaetoceros peruvianus* 33.8%, *Thalassiotrix frauenfeldii* 16,2%, *Chaetoceros radicans* 14,7%, Ceratium furca 13,9%, *Pseudo-nitzschia delicatissima* 9,6% y otros 11,79 % (Figura 9).

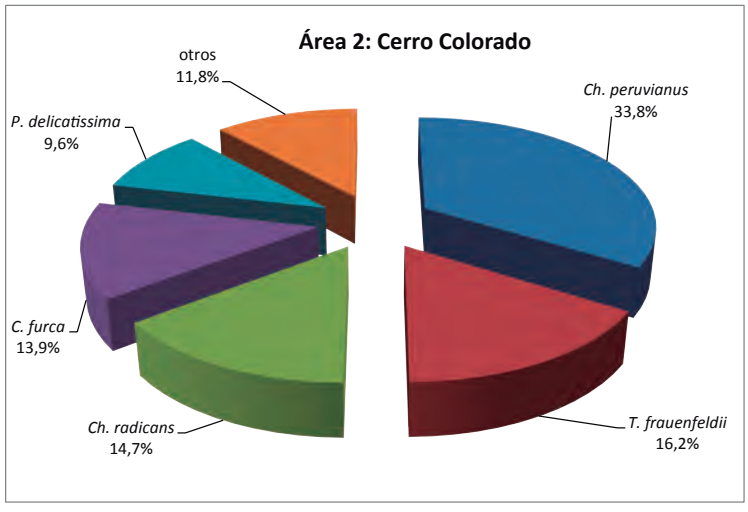



**Figura 9.** Abundancia relativa Superficial del Fitoplancton en el Area 2: Cerro Colorado, durante marzo de 2009.

**“ Área 3 “Estaciones 3 a 5-Caleta Tortuga Negra:** Se encontró una diversidad de 61 especies distribuidas en 48 diatomeas, 9 dinoflagelados, 1 silicoflagelado, 1 cyanobacteria, 1 tintinnido.

La abundancia relativa de las especies estuvo representada de la siguiente manera: *Thalassiotrix frauenfeldii* 40,1%, *Rhizosolenia hebetata* 21,2% *Chaetoceros peruvianus* 19,9%, *Ch. affinis* 8,0%, *Pseudoenoutia*

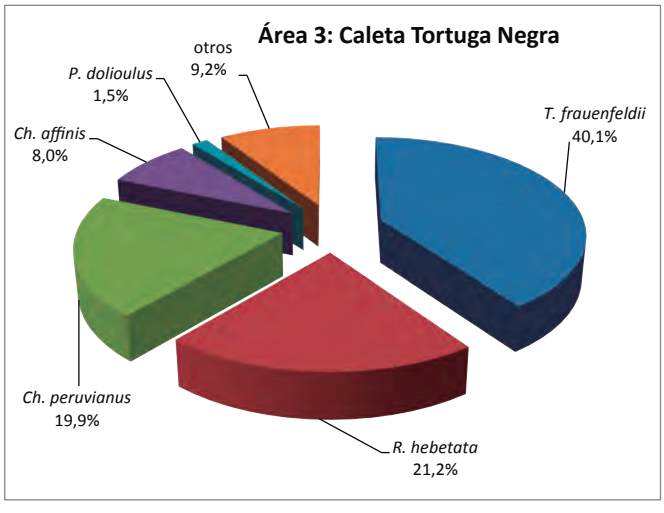



**Figura 10.** Abundancia relativa Superficial del Fitoplancton en el Area 3: Caleta Tortuga Negra, durante marzo de 2009.

*doliolus* 1,5% y otros 9,2 %. (Figura 10).

**“ Área 4 “Estaciones 6 a 8- Punta Espinoza:** Se encontró una diversidad de 55 especies distribuidas en 40 diatomeas, 13 dinoflagelados, 2 silicoflagelados.

La abundancia relativa de las especies estuvo representada de la siguiente manera: *Thalassiotrix frauenfeldii* 29,0%, *Chaetoceros affinis* 24,3%, *Ch. peruvianus* 22,9%, *Pseudo-nitzschia delicatissima* 18,5%, *Thalassiosira subtilis* 1,0% y otros 4,6%,

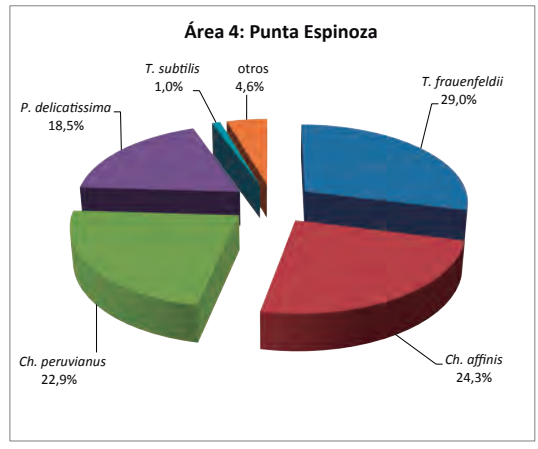



**Figura 11.** Abundancia relativa Superficial del Fitoplancton en el Area 4: Punta Espinoza, durante marzo de 2009.

(Figura 11).

**"Área 5 "Estaciones 9 a 11-Caleta Tagus:** Se encontró una diversidad de 41 especies distribuidas en 30 diatomeas, 7 dinoflagelados, 4 tintinnidos.

La abundancia relativa de las especies estuvo representada de la siguiente manera: *Chaetoceros peruvianus* 34,6%, *Ch. curvisetus* 32,5%, *Pseudo-nitzschia delicatissima* 18,6%, *Thalassiotrix frauenfeldii* 16,3%, *Ch. affinis* 0,9% y otros 4,1%. (Figura 12).

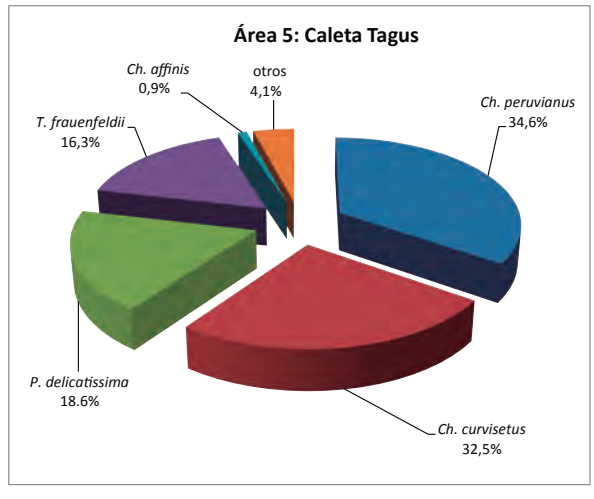



**Figura 12.** Abundancia relativa Superficial del Fitoplancton en el Area 5: Caleta Tagus, durante marzo de 2009.

**"Área 6 "Estaciones 12- 14- Los Cañones:** Se encontró una moderada densidad celular con un total de 18.344 cél/$m^3$.

En esta área se registró una diversidad de 63 especies distribuidas en 46 diatomeas, 14 dinoflagelados, 3 tintinnidos.

La abundancia relativa de las especies estuvo representada de la siguiente manera: *Chaetoceros curvisetus* 48,6%, *Thalassiotrix frauenfeldii* 15,5%, *Ch. peruvianus* 13,9%, *Pseudo-nitzschia delicatissima* 8,9%, *R. hebetata* 0,3% y otros 12,8%. (Figura 13).

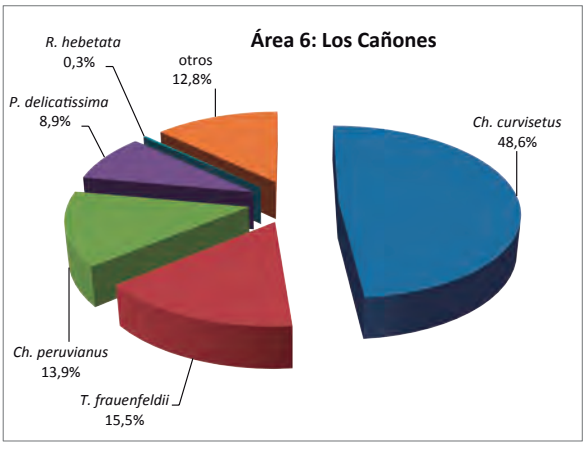



**Figura 13.** Abundancia relativa Superficial del Fitoplancton en el Area 6: Los Cañones, durante marzo de 2009.

## ZOOPLANCTON

### Área 1. Los Colorados.

En esta localidad la biomasa de zooplancton, fue relativamente escasa con un valor de 0.19 gr/m$^3$

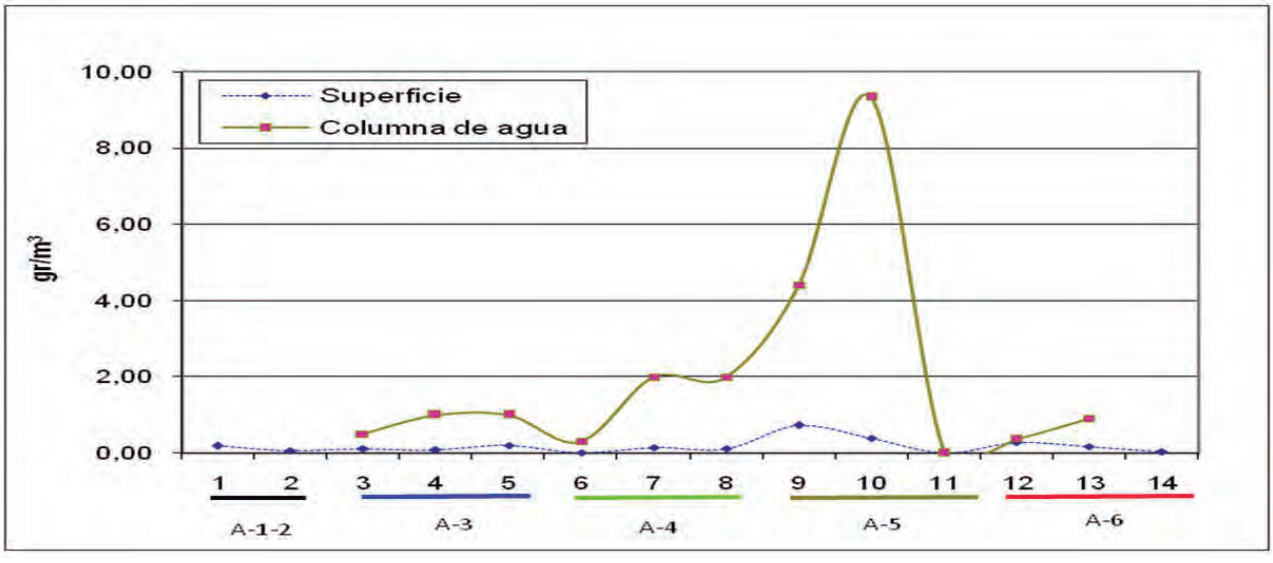



**Figura 14.** Distribución de la biomasa del zooplancton en la capa superficial y subsuperficial en los sitios de muestreos en Canal Bolívar durante marzo 2009.

principalmente en la capa superficial (Figura 14).

La composición faunística de la comunidad del zooplancton en la capa superficial estuvo representado en orden de abundancia relativa por las taxa: Larvas de eufaúsidos 83.3% correspondiente al estadío larval furcilia, seguido de Copépodos 8.3%, larvas de poliquetos 6.1%, zoeas de brachiuras 0.5%, huevos de peces 0.5% y otros grupos zooplanctónicos tales como ostrácodos, quetognatos, larvas de peces, megalopas de brachiuras, estomatópodos, larvas de cirripedios que juntos alcanzaron el 1.2% (Figura 15).

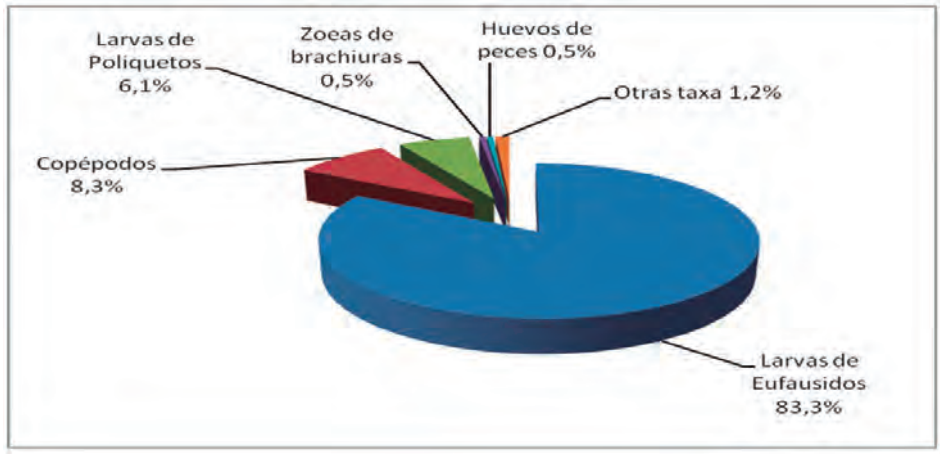



**Figura 15.** Abundancia relativa del zooplancton en el Área 1: Los colorados, durante marzo de 2009.

Con relación a las especies de Quetognatos se registró en la capa superficial *Sagitta enflata* con el 25% y *Sagitta peruviana* 25%, y el 50% corresponde al género *Sagitta sp*, en virtud que se observaron ejemplares de quetognatos juveniles.

**Área 2. Cerro Colorado.**

En esta localidad se determinó en la capa superficial una escasa biomasa de zooplancton con un valor de 0.07 gr/m3 , este valor es inferior al registrado en el área denominada Los colorados.

Esta escasa biomasa de zooplancton, estuvo caracterizada por una baja diversidad de grupos de zooplancton representado por los grupos dominantes a Copépodos 47.5%; larvas de eufaúsidos 40.1%, larvas de poliquetos 6.3%. -En menor abundancia relativa se registraron a Zoeas de brachiuras 1.9%, huevos de peces 1.5%, quetognatos 1.5%. Dentro de la categoría de otros grupos 1.2% accidentales se registraron los: Sifonóforos, doliolum, eufaúsidos y larvas de peces (Figura16)

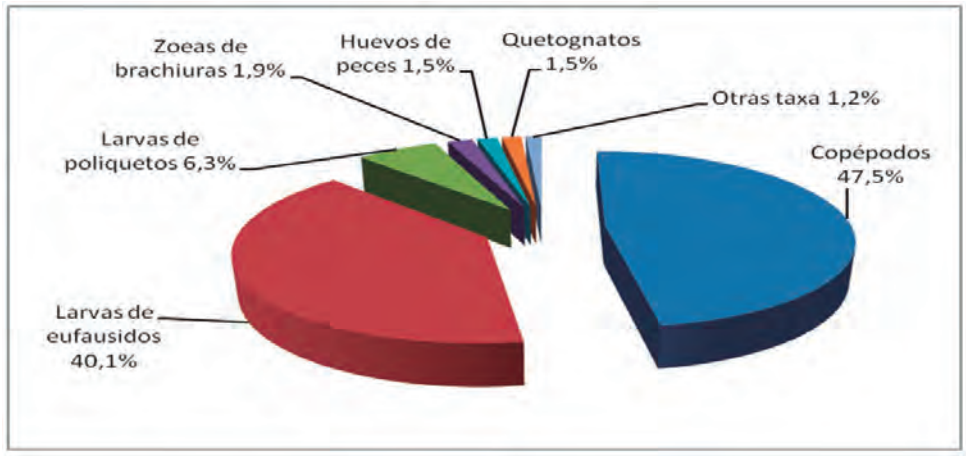



**Figura 16.** Abundancia relativa del zooplancton en el área 2: Cerro Colorado, durante marzo de 2009.

Cabe señalar se registró una escasa abundancia de ejemplares de quetognatos, representado por la especie dominante *S. enflata* 80%, *S. bedoti* 5%, *S. pacifica* 5%, *S. neglecta* 5% y *Sagitta sp* 5%

**Área 3: Caleta Tortuga Negra.**

Esta área esta subdividida en 3 estaciones de monitoreo: Norte, centro y sur.

En la estación 5 ubicada al sur de la Caleta Tortuga negra, se registró en la capa superficial una escasa biomasa de zooplancton con 0.20 gr/$m^3$ y en las estaciones 3 y 4 las biomasas fueron menores con valores de 0.12 gr y 0.09 gr/$m^3$ respectivamente.

A nivel subsuperficial en las estaciones 4 y 5 ubicadas al centro y sur de Caleta Tortuga Negra se observó un ligero aumento de la biomasa de zooplancton con un valor de 1gr/$m^3$ en cada una de ellas.

En cuanto a la composición de la comunidad de zooplancton se presentó un patrón similar cualitativamente a nivel superficial y subsuperficial, determinándose la dominancia de Copépodos 77%, seguido zoeas de brachiuras 20.4 %, y en menor abundancia se registró larvas de eufaúsidos 0.5%, larvas de peces 0.5% y la especie *Porcelana longicornis* 0.5%. Adicionalmente otrs taxa representados con el 1%, tales como quetognatos, doliolum, medusas, larvas de poliquetos, huevos de peces, estomatópodos y larvas de cirripedios (Figura 17).

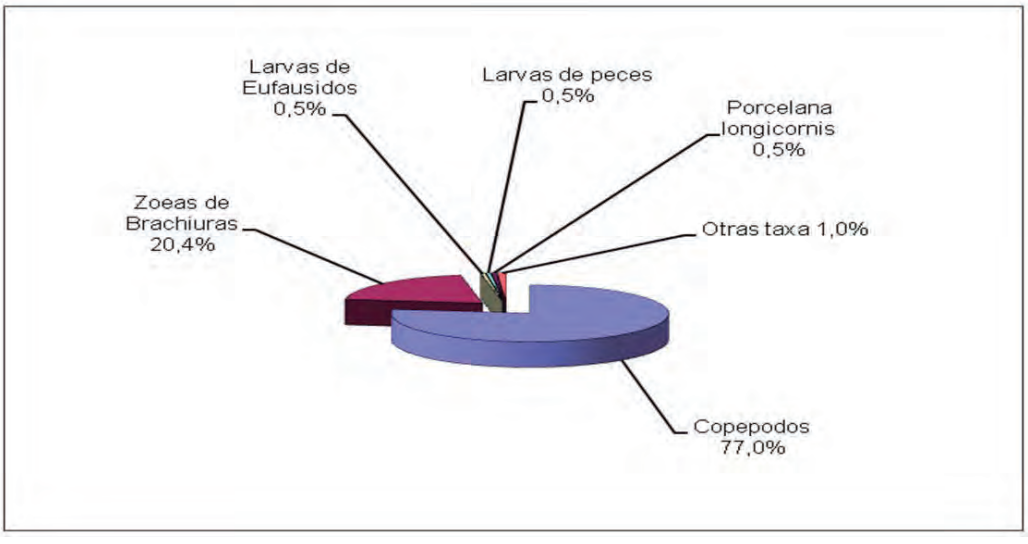



**Figura 17.** Abundancia relativa del zooplancton en el área 3: Caleta Tortuga Negra, durante marzo de 2009.

El phylum quetognatos presentó una escasa abundancia y se observaron ejemplares juveniles.

**Área 4: Punta Espinoza.**

En esta localidad en las estaciones 7 y 8 ubicada en el centro y sur de Punta Espinoza se registró una escasa biomasa de zooplancton en la capa superficial con valores de 0.14 y 0.12 gr/$m^3$ respectivamente. En la estación 6 ubicada en el norte se registró una menor biomasa con un valor de 0.02 gr/$m^3$ en comparación a las otras estaciones.

En la columna de agua se determinó una baja biomasa de zooplancton especialmente en la estación 7 y 8 con valores de 2.0 gr/$m^{3,}$ determinándose que a nivel subsuperficial se registró una mayor biomasa en comparación a la capa superficial.

Con relación a la composición del zooplancton estuvo representada por los grupos Copépodos 70.9%, huevos de peces 13.7%, larvas de eufaúsidos correspondiente a furcilia 3.8%, zoeas de brachiuras 3.8%, medusas 2.9%, quetognatos 2.7%. En la categoría de accidentales se registraron los grupos: sifonóforos, apendicularios, larvas de decápodos, estomatópodos, bivalvos y larvas de poliquetos que juntos representan el 2.1% de abundancia relativa (Figura 18).

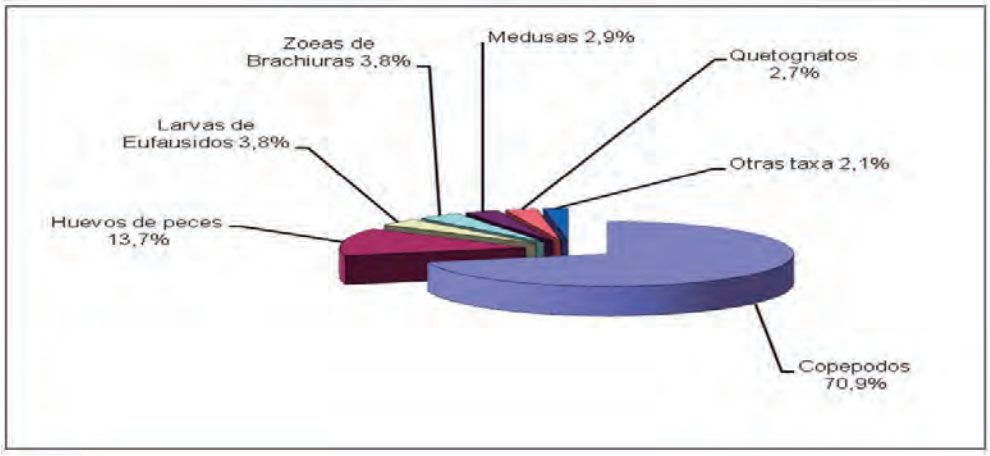



**Figura 18.** Abundancia relativa del zooplancton en el área 4: Punta Espinoza, durante marzo de 2009.

En esta área es el sitio donde se registró una mayor abundancia de quetognatos identidicándose la especie con mayor frecuencia a S. enflata en las 3 estaciones monitoreadas en norte, centro y sur.

**Área 5: Caleta Tagus.**

En esta área se registró en la capa superficial una escasa biomasa de zooplancton, con valores que fluctuaron entre 0.01 gr/$m^3$ a 0.73 gr/$m^3$. Sin embargo en la columna de agua en la estación 9 se observó una abundante biomasa con un valor de 4.4 gr/$m^3$ y en la estación 10 se registró una muy abundante biomasa de zooplancton en comparación a las otras áreas representado por un valor de biomasa zooplanctónica de 9.3 gr/$m^3$.

En Caleta Tagus la comunidad de zooplancton estuvo conformado por abundancia exclusiva del grupo: Larvas de eufaúsidos correspondiente a las fases larvales caliptopis y furcilia de los eufaúsidos con el 98.3%.

Esta área se considera como una de las áreas de alta productividad secundaria a nivel subsuperficial en comparación a las otras áreas muestreadas en el Canal Bolivar.
Además se considera a los eufaúsidos como uno de los microcrustáceos con una elevada capacidad proteínica.

En menor abundancia relativa se registraron los grupos Copépodos 1.3%, quetognatos 0.1%, huevos de peces 0.1% y zoeas de brachiuras 0.03%, estos grupos se los ubicó dentro de la categoría de accidentales, (Figura 19).

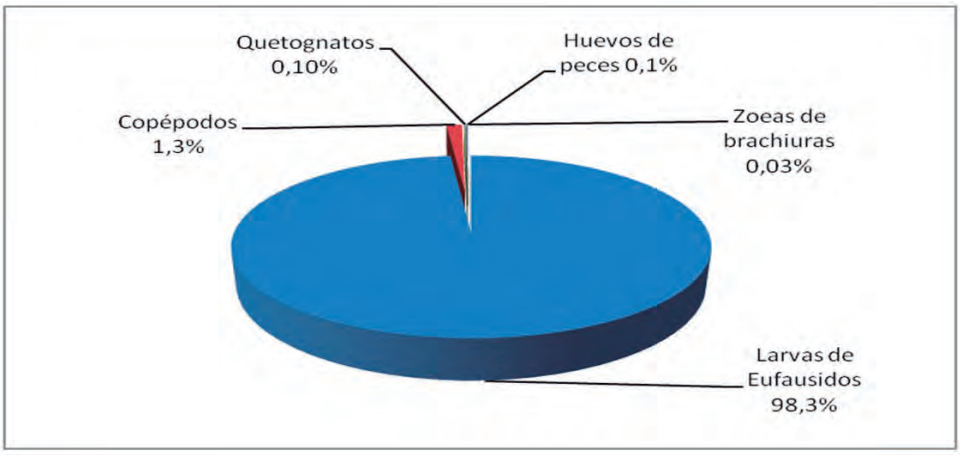



**Figura 19.** Abundancia relativa del zooplancton en el área 5: Caleta Tagus, durante marzo de 2009.

**Área 6: Los Cañones.**

En las estaciones 12 y 13 ubicadas en el norte y centro del área los Cañones se registró una escasa biomasa en la capa superficial con valores entre 0.28 y 0.16 gr/$m^3$ respectivamente y en la estación 14 ubicada al sur la biomasa de zooplancton fue muy escasa con 0.04 gr/$m^3$ .

En la columna de agua la biomasa de zooplancton se registró un ligero aumento con valores entre 0.4 y 0.9 gr/$m^3$ en las estaciones 12 y 13 respectivamente.

Con relación a la composición del zooplancton estuvo representada por los grupos Copépodos 64.8%, larvas de eufaúsidos correspondiente a furcilia 29.5%. En la categoría de accidentales se registraron los grupos: Eufaúsidos 1.9%, quetognatos 1.4%, huevos de peces 1.1%, zoeas de brachiuras 0.5%, medusas 0.3%, sifonóforos 0.1% lucifer 0.1% . (Figura 20).

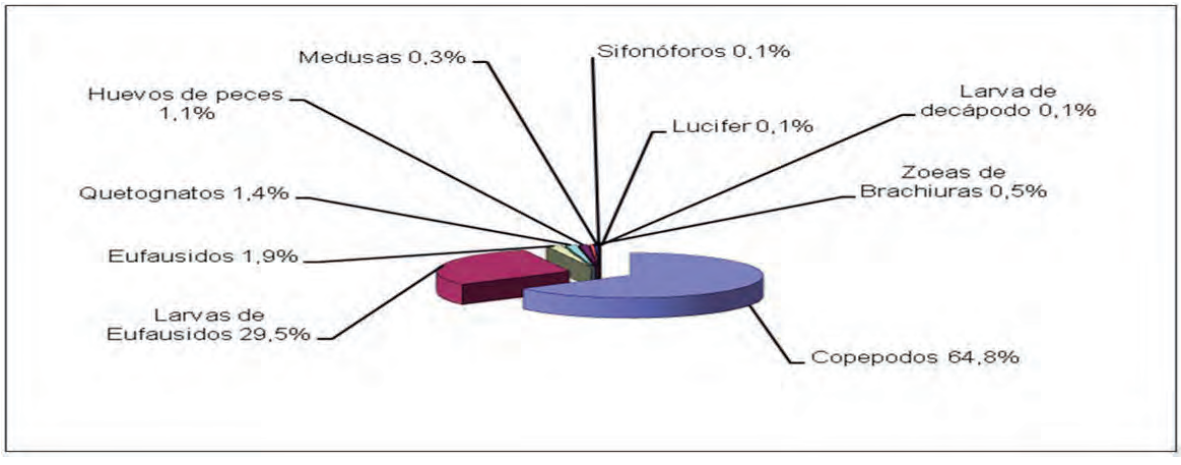



**Figura 20.** Abundancia relativa del zooplancton en el área 6: Los Cañones, durante marzo de 2009.

## DISCUSIONES

Se realizó una comparación macro de la composición y abundancia relativa de estudios desarrollados en ésta área.

Semina (1978), reporta que las especies colectadas con el método de fijación y las capturadas en redes, presentaron diferencias en su composición y abundancia, registrando las especies de menor tamaño en muestras de agua y las de mayor tamaño e indicadoras de eventos cálidos en las muestras de redes.

En lo que respecta a la composición de fitoplancton se reporta para las seis áreas en estudio la presencia de las especies *Chaetoceros peruvianus, Ch. curvisetus* indicadoras de masas de aguas frías y oceánicas, asociadas a estas especies se observó la presencia de *Thalassiotrix frauenfeldii, Pseudo-nitzchia delicatissima* y *Rhizosolenia hebetata* consideradas diatomeas típicas de masas de neríticas y frías.

En cuanto a los grupos del zooplancton se encontraron a Larvas de eufaúsidos, copépodos, larvas de eufaúsidos, larvas de poliquetos, zoeas de brachiuras y huevos de peces.

Tapia y Torres (2000), mencionan que las principales áreas de mayor concentración de productores primarios se presentaron al oeste de las islas Galápagos y en el Golfo de Guayaquil, variables de gran utilidad ecológica que actúan direccionadamente a la producción de grandes áreas de pesquerías.

Naranjo (2000), reporta la presencia de especies *Sagitta enflata* y *S. pacífica* que son de hábitat epiplanctónico, las cuales presenta una amplia distribución considerándose a estas especies

cosmopolitas que pueden habitar en regiones neríticas y oceánicas.

Tapia y Naranjo (2005-2006), registraron la presencia de especies *Rhizosolenia hebetata* y *Thalassiosira subtilis* indicadoras de masas de aguas frías y oceánicas, asociado a estas se observó la presencia poco usual de *Planktoniella sol* y *Asteromphalus brookei* con una máxima distribución de norte a sur del área que son consideradas diatomeas típicas de masas de Aguas Tropicales Superficiales.

Naranjo y Tapia (2007), reportaron en un estudio realizado en la isla Baltra una elevada productividad primaria con rangos entre 1.40-1.80 mg/$m^3$ en la capa superficial, mientras en muestras de red de 50 micras encontraron 46 especies y una diversidad de grupos del zooplancton tales como Copépodos, huevos de peces, quetognatos, zoeas de brachiuras, larvas de invertebrados.

En el presente estudio se registraron 63 especies en muestras de red de 50 micras representados mayormente por diatomeas, dinoflagelados y tintinnidos, mientras en la composición del zooplancton estuvo representada por los grupos Copépodos 64.8%, larvas de eufaúsidos correspondiente a Furcilia 29.5%. En la categoría de accidentales se registraron los grupos: Eufaúsidos 1.9%, quetognatos 1.4%, huevos de peces 1.1%, zoeas de brachiuras 0.5%, medusas 0.3%, sifonóforos 0.1% y lucifer 0.1%.

En las áreas de mayor productividad tales como: Área Los Cañones y Punta Espinoza, se registraron variabilidad en los parámetros físicos, determinándose valores de salinidad de 35.12 UPS y temperatura promedio de 24.2° C.

## CONCLUSIONES

• Se determina el sitio denominado Los Cañones ubicado en el Canal Bolívar entre las Islas Isabela y Fernandina como una área de mayor producción primaria correspondientes a las estaciones 12 y 13 en aguas subsuperficiales. La menor concentración de producción primaria se registró en el área Los Colorados.

• Se registró en la estación 6 localizada en Punta Espinoza de la Isla Fernandina en aguas superficiales y subsuperficiales la mayor abundancia relativa. Se destaca la dominancia de las especies *Thalassiotrix frauenfeldii, Chaetoceros curvisetus, Ch. peruvianus, Pseudo-nitzschia delicatissima* que constituyen el grupo de las Diatomeas, por lo tanto se consideran como especies nutritivas con grandes cantidades de cloroplastos que indican un buen ecosistema saludable, índice alimenticio en esta área.

• Se establece que la mayor biomasa zooplanctónica se observó en las estaciones ubicadas en el norte y centro del área de Caleta Tagus, a nivel subsuperficial.

• La muy abundante biomasa de productividad secundaria estuvo conformado por estadios larvales de furcilia y caliptopis de eufáusidos, se considera a este microcrustáceo con una elevada cantidad proteínica que sirve de alimento para los niveles tróficos superiores.

• La distribución de una menor productividad zooplanctónica se registró en la capa superficial especialmente en las estaciones ubicada al sur de Caleta Tagus, estación norte de Punta Espinoza y en la estación ubicada al sur del área Los Cañones.

• La especie de Quetognato con mayor frecuencia en el Canal Bolívar fue *Sagitta enflata* y el área de mayor diversidad de especies de quetognatos fueron las áreas de Cerro Colorado y Los Cañones, identificándose las especies *S. pacifica, S. bedoti, S. neglecta y Pterosagitta draco.*

• En las muestras de Zooplaneton se encontraron a nivel subsuperficial larvas de Phylosomas correspondiente a la especie *Palinurus*

*penicillatus* (Langosta roja), en la estación ubicada al norte del área Los Cañones, lo que se interpreta como un sitio adecuado para el crecimiento y desarrollo de la langosta roja, que está relacionado con la elevada productividad primaria existente el cual se ve favorecido en esta área.

## BIBLIOGRAFIA:

**Alvariño, A. 1963.** Quetognatos epiplanctónicos del mar de Cortes. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural Tomo XXIV, Dic., 1963. 97-243.

**Arcos & Bonilla (1989).** Variación temporal del zooplancton de una estación fija en bahía Academia (Galápagos) período 1986-1988: Su relación con la temperatura superficial . Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 5 (1). 14-23.

**Avaria., S. 1965.** Diatomeas y Silicoflagelados de la Bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina, Valparaíso 12: 61-120.

**Bieri R. & D. Bonilla.1982.** Una nueva especie de Serratosagitta (QUETOGNATO) para la comunidad del plancton del pacífico ecuatorial oriental. Memorias II Congreso Nacional de Ciencias Biológicas., Nov. 1982, Guayaquil. 1: 69-78 .

**Boltovskoy, D. 1981.** Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y método de trabajo con el zooplancton marino. Mar del Plata. Argentina. 3-859.

**Bonilla D. 1983.** Estudio Taxonómico de los Quetognatos del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico Vol. 2 No. 2 509-567.

**Bonilla, D. 1983.** El zooplancton de las Islas Galápagos. Acta oceanográfica del Pacífico. Vol. 2, (1) 119-146.

**Castañeda, P. 2000.** Los eufausidos en el mar ecuatoriano como indicadores de masas de aguas, durante el crucero CO-02-99.

**Septiembre-octubre de 1999.** Acta oceanográfica del Pacífico. Vol. 10, (1) 161-167.

**Cupp, E.,1943.** Marine plankton diatomms of west coast. Bulletin Scripps Institution of Oceanography of the University of California. Eds H. Sverdrup, R. Fleming, L. Miller,5(1): 1-238.

**De Boyd, S. 1977.** Guide to Marine Coastal plankton and invertebrate larvae. Departament of biology west valley community college, California. 157.

**Gasca, R. & E. Suárez. 1996.** Introducción al Zooplancton Marino.
ECOSUR-CONACYT,México 1-711.

**Jiménez R., & Pesantes F, 1978.** Fitoplancton, producción primaria y pigmentos en aguas costeras ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico.
INOCAR. Vol. 2(1):30.

**Jiménez, R., 1980.** El fitoplancton como posible indicador del afloramiento originado por la Subcorriente Ecuatorial (Corriente de Cromwell), al oeste de las islas Galápagos. Memorias del seminario sobre indicadores biológicos del plancton, Guayaquil - Ecuador: 20 –70.

**Jiménez R., 1983.** Diatomeas y dinoflagelados del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR. Vol. 2(2): 193-282.

**INSTITUTO NACIONAL GALÁPAGOS. 1997.** Plan Regional para la Conservación y el desarrollo sustentable de Galápagos: 1-154.

**Moreno, J., S. Licea & H. Santoyo.1996.** Diatomms del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur: 1-280.

**Maxwell, D., 1974.** Marine primary productivity of the Galapagos Archipelago.

Degree. Doctor of Philisophy of the Ohio State University.

**Moreno, J., S. Licea & H. Santoyo.1996.** Diatomms del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur: 1-280.

**Murphree & C. Reynolds. 1995.** El Niño and La Niña effects on the northeast Pacific, the 1991- 1993 and 1988 – 1989 events. Simposium of the CALCOFI conference. Part II. CALCOFI, 36: 45 – 56 .

**Mujica, A. & V. Ascencio. 1985.** Larvas de peces, Eufáusidos y estructura comunitaria del zooplancton del Estrecho Bransfield (Crucero Sibex-Inach, 1984). Ser. Cient. INACH. 33: 159-186 .

**Naranjo. C. 2000.** Contribución al estudio de los Quetognatos alrededor de las islas Galápagos. Acta oceanográfica del Pacífico. Vol. 10, (1) 169-179.

**Sar, E., Ferrario &M, Reguera M. 2002.** Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano. Instituto Español de Oceanografía. Primera edición: 167 – 194.

**SCOR UNESCO Working group 17, 1966.** Determination of photosynthetic pigments in the sea water. Monographs on oceanographic methodology, 1, UNESCO: 8-9.
Semina G., 1967. Phytoplankton: In the Biology of the Pacific Ocean: party I, Plankton. Ed. Bogorov V. 7: 27-85.

**Tapia M., 2006.** Variabilidad temporal del fitoplancton en áreas costeras del mar ecuatoriano y su interrelacion con el evento " La Niña 1999-2000". Tesis doctoral. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales-Ecuador.

**Tapia M.,& Torres G, 2000.** Variabilidad fitoplanctónica en 5 Bahías, Islas Galápagos (Ecuador). Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR. Vol. 10(1): 151-159 .

**Tapia M., & C. Naranjo. 2012.** Aspectos Oceanográficos del Plancton y su relación con el Frente ecuatorial durante septiembre de 2011. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. 17(1):67-91.

**Torres G., & Tapia M,2000.** Distribución del fitoplancton y su comportamiento en el afloramiento en las islas Galápagos. Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR. Vol. 10(1): 137-150.

**Tomas C., 1998.** Identifying marine Phytoplankton. Academic Press, Florida: 1-858.

**Tregouboff, G. & M. Rose. 1957.** Manuel de Plantonologie Mediterrameene. Centro National de la Recherche Scientifique, París. Tomo 2.
Uthermohl H., 1958. Zur Vervollkomnung der Quantitativen phytoplankton Methodic Mitt Inter. Limnol. 9: 1-38.

**Zambrano I., 1983.** Tintinnidos del golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Ecuador, 2(2): 443-507.

# EVALUACIÓN DE MAREAS ROJAS DURANTE 1968-2009 EN ECUADOR.

Gladys Torres [1]

## RESUMEN

Las mareas rojas o florecimientos algales masivos tóxicos, constituyen fenómenos naturales y antrópicos que se han manifestado a lo largo de la historia, causando impactos negativos a las pesquerías, ecosistemas y salud humana. Se realizó un análisis retrospectivo de la información existente sobre mareas rojas en el área marina costera e insular del Ecuador comprendido entre 1968 y 2009, con el propósito de ubicar áreas de mayor ocurrencia, épocas y contar con un registro de las especies causantes de estos eventos. Los resultados evidenciaron 131 eventos de marea roja en el cual 26 eventos de mortalidad se incluyeron. Los meses con mayor eventos fueron marzo abril, y mayo coincidentes con la época cálida; aunque estos también se evidenciaron en todos los meses del año. La mayor ocurrencia fue en el Golfo de Guayaquil (80%), principalmente en el Estero Salado y río Guayas, sector de Puná y borde costero de El Oro, sectores que se relacionan con mayor uso antrópico. Se identificaron treinta y siete especies causantes de mareas rojas, siendo la clase Dinophyceae la más relevante con veintiocho especies de dinoflagelados, seguidos por Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Raphidophyceae y Ciliados. *Mesodinium rubrum* fue el ciliado con mayor número de mareas rojas, seguidos por *Gymnodinium sp., Noctiluca scintillans y Cochlodinium catenatum,* algunos eventos se relacionaron con mortalidad de organismos (peces, camarón y larvas de camarón). Se establece la necesidad de una propuesta de estrategias en el manejo integrado de la prevención, control y vigilancia a futuros eventos de mareas rojas y a sus impactos.

**Palabras Claves:** Marea roja, microalgas, fitoplancton, bloomalgal, dinoflagelados biotoxina.

## ABSTRACT

Red tides or massive toxic alga blooms are natural phenomena and man who have spoken throughout history, causing negative to fisheries, ecosystems and human health impacts. A retrospective analysis of the existing information on red tides, happened in understood the coastal and insular marine areaod Ecuador between 1968 and 2009, in order to locate aerial geographic of mainimpact, time of the occurrence, species producing causes of these events and mortality of organisms. The results demostrated 131 red tide, 26 events of mortality organism were included. The months of main occurrence were in March, April and May, although these also were demonstrated in everymonth of theyear, coincident with the warm time (warm season). The geographic of the most occurrence was located in the Gulf of Guayaquil (80%), mainly in the internal channels (Estero Salado and Guayas river), near of Puna island and in front of the El Oro Province. Thirty-seven species were identified cause of red tides, being the Dinophyceae class with twenty-eight species of dinoflagellates, followed by Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Raphidophyte and Ciliate. Ciliate *Mesodinium rubrum* was the dominant taxon with highest number of red tides, followed by *Gymnodinium sp., Noctiluca scintillans and Cochlodinium catenatum*, some events related to mortality of organisms (fish, shrimp and shrimp larvae). These results establish the necessity of actions anticipated by means a strategies proposal in the integrated management of prevention, control and monitoring of red tides and future impacts.

**Keywords:** Red tide, microalgae, phytoplankton, algal bloom, dinoflagellate, biotoxin.

[1]Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5940 Guayaquil- Ecuador. Fax (5934) 485166.EMail: Gladys.torres@inocar.mil.ec

## INTRODUCCIÓN

El término Mareas Rojas o Floraciones Algales Nocivas (FAN) y "red tide o Harmful Algal bloom" (HAB), ha sido designado por la COI-UNESCO en el Panel Intergubernamental (IPHAB) para asignar las apariciones de un heterogéneo grupo de microorganismos (planctónicos o bentónicos) que son percibidos por el hombre, por sus efectos adversos a la salud humana, a las zonas costeras de explotaciones de acuicultura, turísticas y en las poblaciones naturales de organismos marinos (Reguera, 2002). Las FAN afectan a una amplia variedad de pesquerías (Black, 2001), han provocado intoxicaciones con graves problemas a la salud pública, han causado pérdidas económicas al sector maricultor, y tienen implicaciones relevantes en el uso de aguas recreacionales (Masó, 2003).

Los ecosistemas marinos costeros tienen grandes riesgos frente a la combinación de las actividades humanas y están seriamente afectados por la alteración en la cadena alimentaria, cambio climático, alteración de hábitat, erosión costera, introducción de especies exóticas invasoras por agua lastre de buques y polución de las aguas costeras (Hansen et al., 2001), son factores que condicionan la abundancia del "bloom" algal (Fogg, 2002). Algunos experimentos indicaron que las algas nocivas pueden utilizar los nutrientes orgánicos e inorgánicos disueltos en aguas de descargas domésticas costeras (Lindehoff et al., 2009), al arrastre de nutrientes de los campos agrícolas (Fournier, 2009). Causan intensa discoloración del mar por los pigmentos de las algas involucradas, formando parches o manchas superficiales con pocos metros de espesor y se pueden extender por cientos de kilómetros.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo Sustentable en 1992 (Agenda 21) y la Convención sobre Cambio Climático, han reconocido la prioridad de investigar las algas nocivas. En el Panel Intergubernamental COI-FAO sobre las FAN, se consideró que el "bloom" de algas nocivas es un problema global con implicaciones regionales y locales (GEOHAB, 2004). Existen Programas Nacionales desarrollados por diversos países (Canadá, China, Francia, Japón, Grecia, Alemania, Irlanda, España Estados Unidos, Italia, México, Filipina, Suecia y Reino Unido), en coordinación con varios subprogramas de la COI (UNEP, ICES, PICES, SCOR, CE) en todos los Océanos. Actualmente, se han creado redes de grupos regionales liderados por la IOC-HAB (ANCA, FANSA, HANA, WESTPAC/HAB, WGHABD, ECOHAB, EUROHAB, HARRNESS), para facilitar y coordinar investigaciones que logren el entendimiento de su ecología, mejorar los modelos operacionales y acciones preventivas. Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue documentar la ocurrencia de mareas rojas, identificar los sectores más vulnerables a estos eventos en el borde costero e insular del Ecuador, su incidencia estacional, especies que causaron la discoloración y registros de mortalidad de organismos ocurridos hasta el 2009.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación de los documentos publicados en las bibliotecas del INOCAR, INP y de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil; se dialogó con los especialistas de los temas publicados y no publicados sobre mareas rojas. Se efectuó un análisis del método de muestreo cuali-cuantitativo. Otros reportes fueron generados durante el proyecto de "Mareas rojas: Monitoreo e Información" desarrollado por el INOCAR (2003-2005), incluyendo los avisos desde pescadores que denunciaron estos eventos raros a las Capitanías de Puertos; en otros casos se efectuaron algunos muestreos con el apoyo del EDC (2004-2005), otros desde algunas comunicaciones de biólogos del sector camaronero que enviaron muestras y avisos de sociedad Latinoamericana de Acuacultura (S.L.A.).

Con los registros obtenidos, se prepararon mapas de las ocurrencias de mareas rojas en 4

sectores, margen costero norte, costa central, costa sur y Galápagos; en base al mapa de riesgos naturales por tsunamis del INOCAR (no publicado), Datum WGS-84; Escala 490.000).

## RESULTADOS

Se registraron 52 documentos (publicados y no publicados) correspondientes a un periodo de 42 años comprendidos entre 1968 hasta el 2009. Se registraron dos métodos de muestreo: a) muestras de agua colectadas con baldes y botellas Van Dorn (análisis cuantitativo cel/l) preservadas con Lugol (Hallegraeff, 2002; 2004) y observadas según la técnica de Uthermohl (1958); b) muestras obtenidas con arrastres superficiales de redes cónicas de 55u, 63u y 75u (análisis cualitativo cel/$m^3$) aplicando la técnica de UNESCO (Sournia 1978). La mayor parte de los registros de esta investigación correspondieron a muestras de agua (76 %), otras muestras fueron obtenidas con redes (19 %), y el resto solo existe el reporte de marea roja (5 %) donde no menciona ninguna metodología.

La información retrospectiva registró 131 eventos de mareas rojas y mortalidad de organismos registrados durante entre 1968 al 2009 (42 años), han sido generadas principalmente por INOCAR (52 %) e INP (23 %), investigaciones que coincidieron con el inicio de los dos institutos de investigaciones en estudios del fitoplancton en Ecuador. Otros documentos correspondieron a consultorías privadas, informes regionales COI-UNESCO-FANSA, publicaciones en revistas especializadas de algas nocivas.

Los documentos con mayor aporte de registros de marea roja y mortalidad de peces han sido generados por Jiménez (1989), con la ocurrencia de 30 eventos mareas rojas desde 1968 al 1986 en relación a los problemas de mortalidad del camarón y marea roja. Posteriormente, Jiménez (1993; 1996) agregó 17 eventos que están incluidos en otras publicaciones nacionales (Jiménez y Gualancañay, 2006); Torres (2000) dió un reporte de 20 eventos entre 1989 al 1999. Otros eventos fueron reportados por Coello 2003, 2007; Coello et al, 2009; Torres y Palacios (2007 a-b).

Al norte del país en Esmeraldas (Figura 1), los registros fueron escasos y coincidieron en las cercanías de estuarios y áreas de manglar (Cojimíes, Esmeraldas y San Lorenzo). En el estuario de Cojimíes (junio 1996), se registró un solo evento de mortalidad de peces en esta provincia fue asociada a la marea roja causada por *Mesodinium rubrum*, posiblemente sea atribuible a que este año correspondió a un evento oceanográfico de condiciones frías.

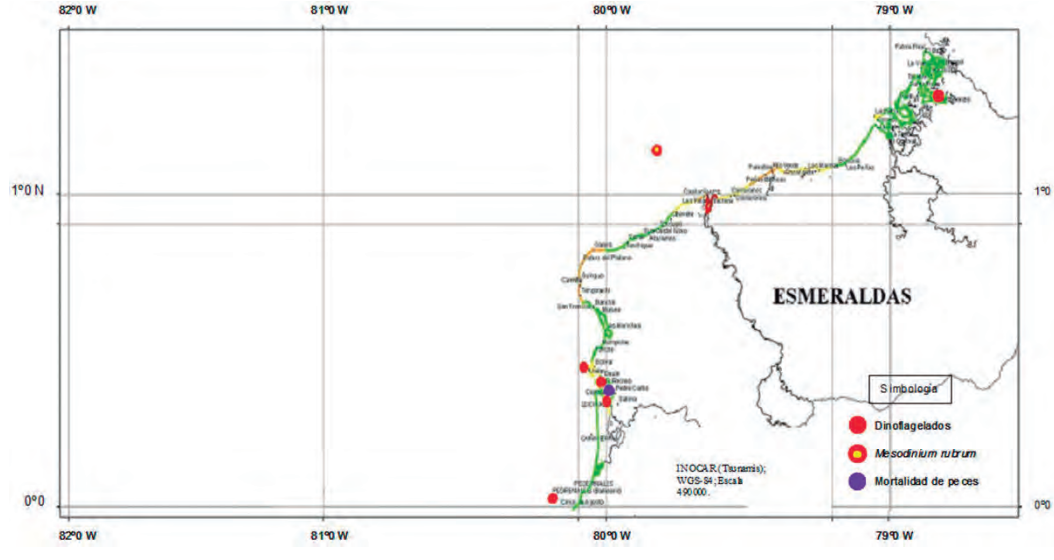



**Figura 1.** Registros de mareas rojas y mortalidad de peces (1968-2009) al norte de la costa del Ecuador.

En la zona central del país (Figura 2), ha registrado un ligero incremento de estos eventos al sur del margen costero como Olón, Manglaralto, Ayangue, Valdivia, Monteverde, Palmar, San Pablo, principalmente causadas por M .rubrum y dinoflagelados. Otro evento de mortalidad de peces fue relacionada a la abundancia de cianobacterias en el río Portoviejo. Esta área geográfica registró ambientes marinos influenciados por la posición del Frente Ecuatorial, y correspondió a zonas activas e importantes para la pesca artesanal e industrial. En 12 años del periodo de estudio se registraron veinte ocurrencias de mareas rojas y tres de mortalidad de peces; en el 2000 se registró el mayor número de eventos (con tres sucesos en marzo y uno en mayo), coincidente con el evento frío de La Niña.

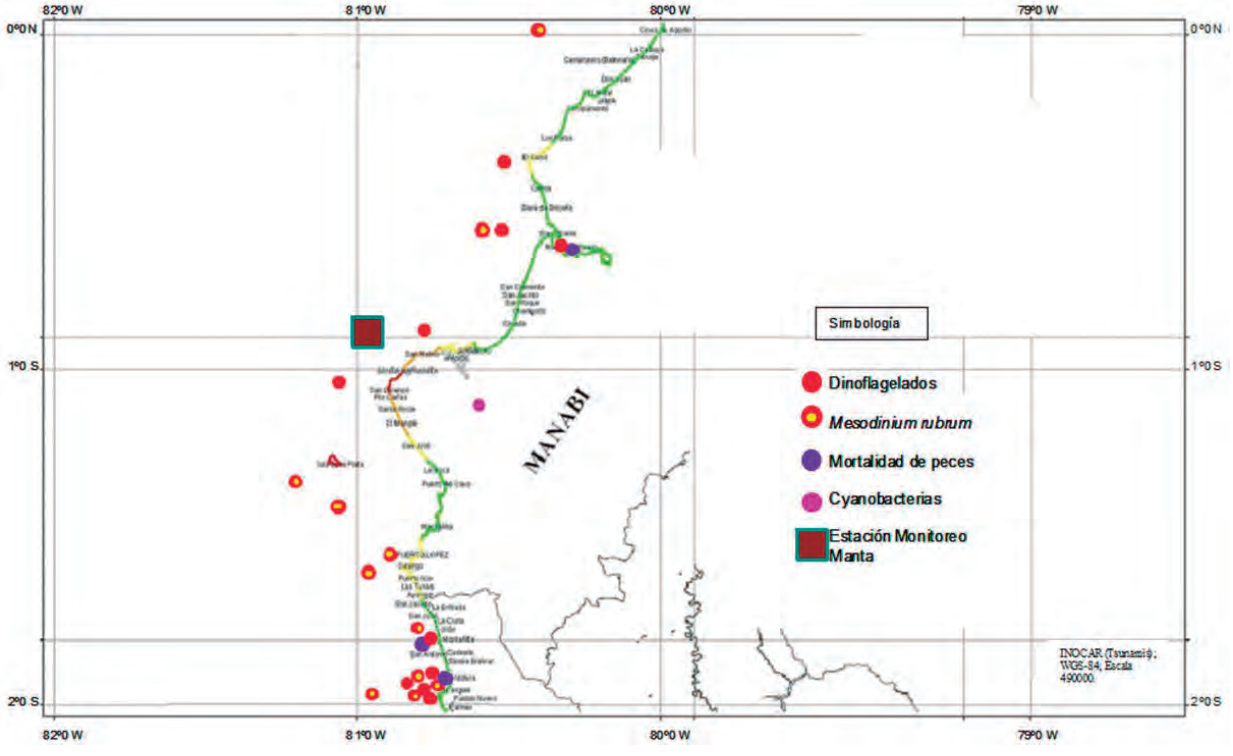



**Figura 2.** Registros de mareas rojas y mortalidad de peces (1968-2009) en la costa central del Ecuador.

En la parte sur del país, se evidenció la mayor ocurrencia de mareas rojas (80 %) y mortalidad de peces (77 %) fueron registrados en el Golfo de Guayaquil (Figura 3). La distribución de estos eventos, correspondieron principalmente en el área central del Golfo (13 %), área norte del Golfo (19 %), en los canales internos del estero Salado (22 %), río Guayas (5%), y entre la isla Puná (Provincia del Guayas) y en el borde costero de la Provincia de El Oro con el 21 % (Figura 4); lo cual sustenta la hipótesis de "mayor ocurrencia en áreas de mayor uso antrópico". Estos resultados confirman que el sector del golfo interno y externo, es la zona de mayor riesgo de amenazas y vulnerabilidad sobre futuros eventos para el país, considerada como la zona más productiva en recursos pesqueros, industria camaronera, cercanas a sitios de cuarentena de buques de tráfico internacional que ingresan hacía al Puerto de Guayaquil y Puerto Bolívar, sector de mayor resiliencia a los múltiples usos en tierra y en agua.

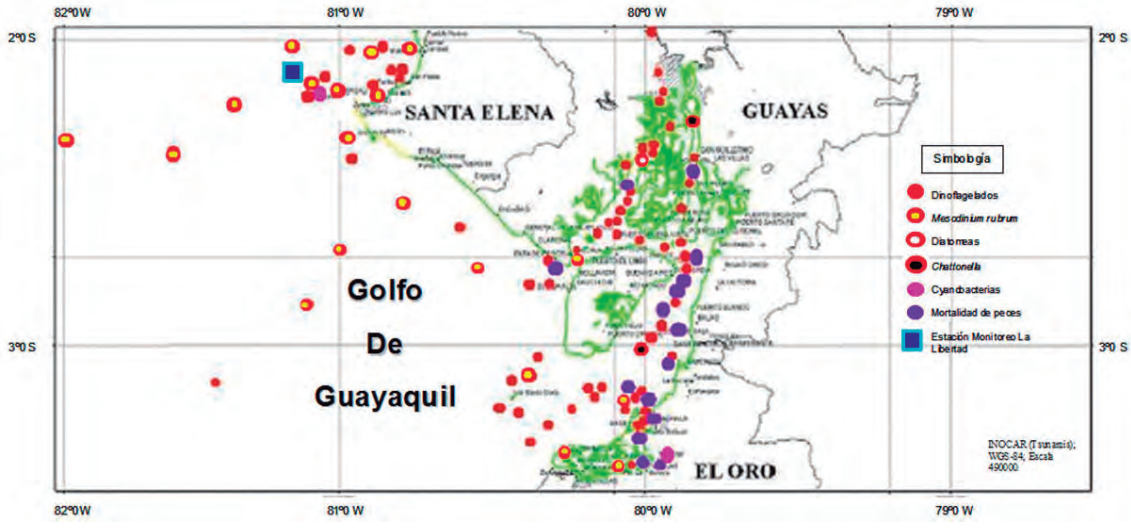



**Figura 3.** Registros de mareas rojas y mortalidad de organismos (1968-2009) en el Golfo de Guayaquil.

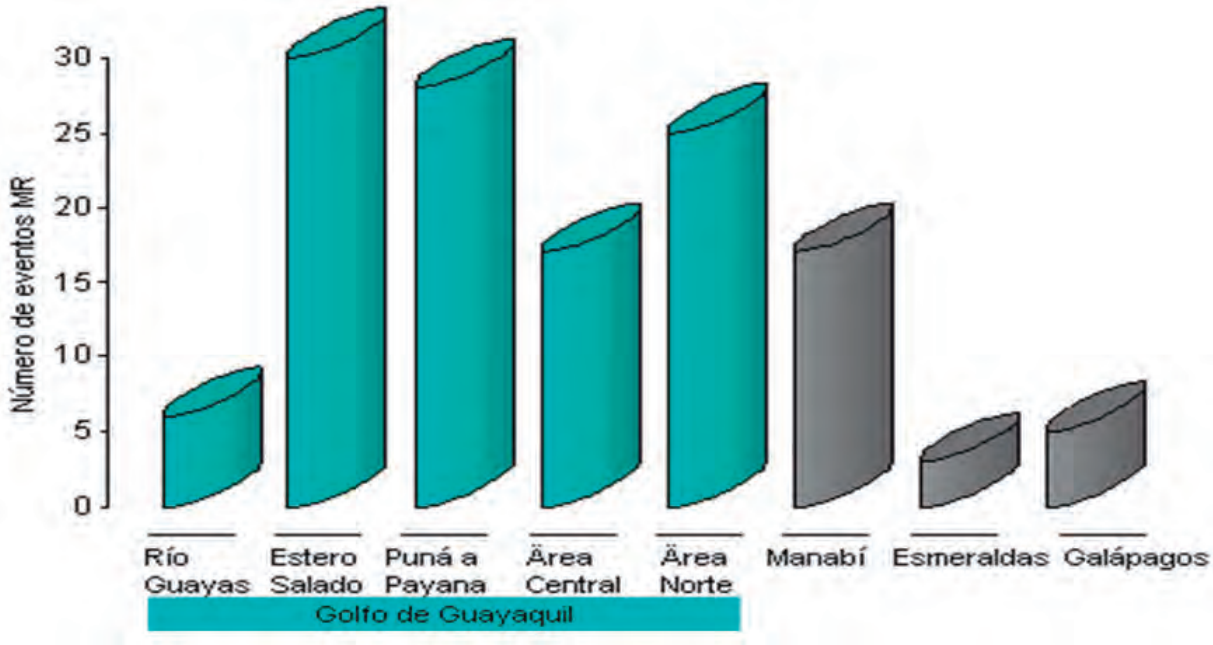



**Figura 4.** Número de reportes de mares rojas por área geográfica de la zona costera e insular entre 1968 a 2009.

Las mareas rojas reportadas en Galápagos (Figura 5), se evidenciaron en la zona de afloramiento del Canal Itabaca y sur de Isabela causadas por *M. rubrum*; en la laguna costera las Diablas (Puerto Villamil-Isabela) compuesta por cianobacterias. Al sur de la isla Santa Cruz (Bahía Academia), también se registraron estos eventos; en Tortuga Bay fue evidenciada una pequeña mancha color café rojizo (causada por la diatomea *Bellerochea malleus*) y es permanente desde el 2000 hasta esta investigación. En abril de 1980 se reportó la única mortalidad de peces relacionada con la marea roja causada por *Prorocentrum gracilis*.

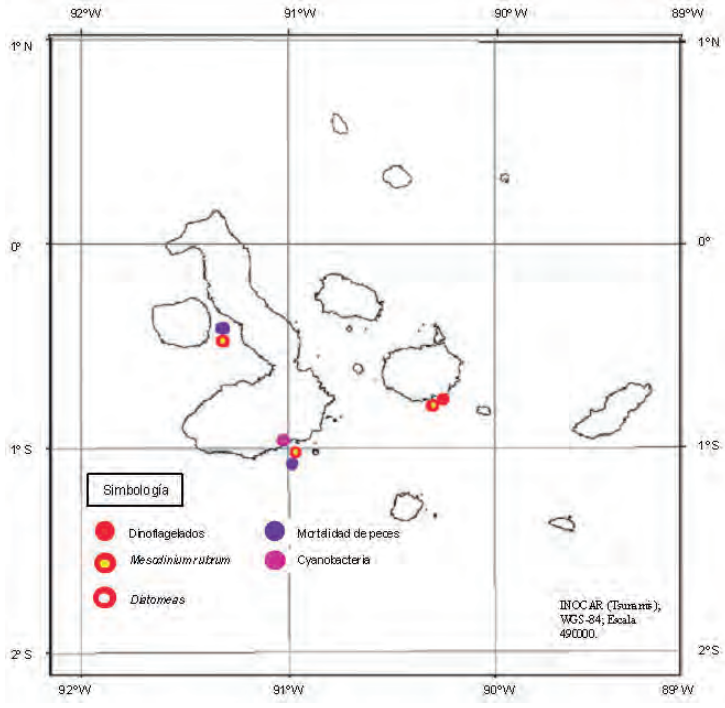



**Figura 5.** Registros de mareas rojas y mortalidad de peces (1968-2009) en Galápagos.

Los registros de marea roja ocurrieron en todos los meses del año, siendo los meses de marzo, abril y mayo los de mayor ocurrencia durante el periodo de esta investigación (Figura 6), coincidentes con la época cálida (mayor radiación solar) y correspondió a la época húmeda o lluviosa del país (invierno). En los 42 años, solo 32 años registraron eventos de mareas rojas y 10 años no se obtuvieron evidencias o no ocurrieron. En veintiséis eventos fueron relacionados con la mortalidad de organismos principalmente peces, en su mayor parte ocurrieron en el Golfo de Guayaquil; mortalidad que no ha tenido una explicación científica, ni seguimiento por las autoridades ambientales y pesqueras en investigar cuál fue la causa; eventos que han sido denunciados por los pescadores de algunos sectores de la Provincia de El Oro, lo que ha generado conflictos pesqueros (1981-1996-2003, 2004, 2007-2008) por casi tres décadas.

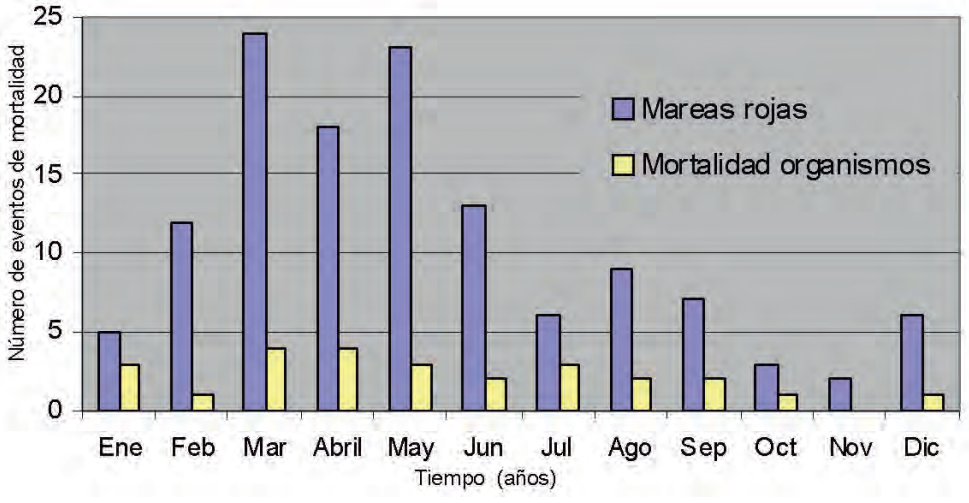



**Figura 6.** Registro mensual de eventos de marea roja y mortalidad de organismos (1968-2009).

Durante el periodo 1968-2009, se registraron treinta y siete especies comprendidas en diecisiete géneros que fueron las causantes de la discoloración en el mar; en ocho eventos no fueron identificados por carecer de muestras, los que son descritos en Torres (2012). El taxón con mayor número de especies fue la clase Dinophyceae con 29 especies de dinoflagelados, seguidos por Cyanophyceae (2 especies), Bacillariophyceae (3 especies), Raphidophyceae (2 especies) y el ciliado *M. rubrum.* La mayoría de lasespecies causantes de mareas rojas se encontraron en el área del Golfo de Guayaquil y se relacionan con el mayor reporte de estos eventos al sur del país (Figura 3). Las especies que registraron mayor ocurrencia fueron *Mesodinium rubrum* (33 eventos) y *Gymnodinium* sp. (13 eventos), N. *scintilans* (7 eventos), *Prorocentrum minimun* (6 eventos), *Clochlodinium catenatum* (5), *Gyrodinium sp.*, (3), y el resto de especies fue menor a 2 eventos (Figura 7).

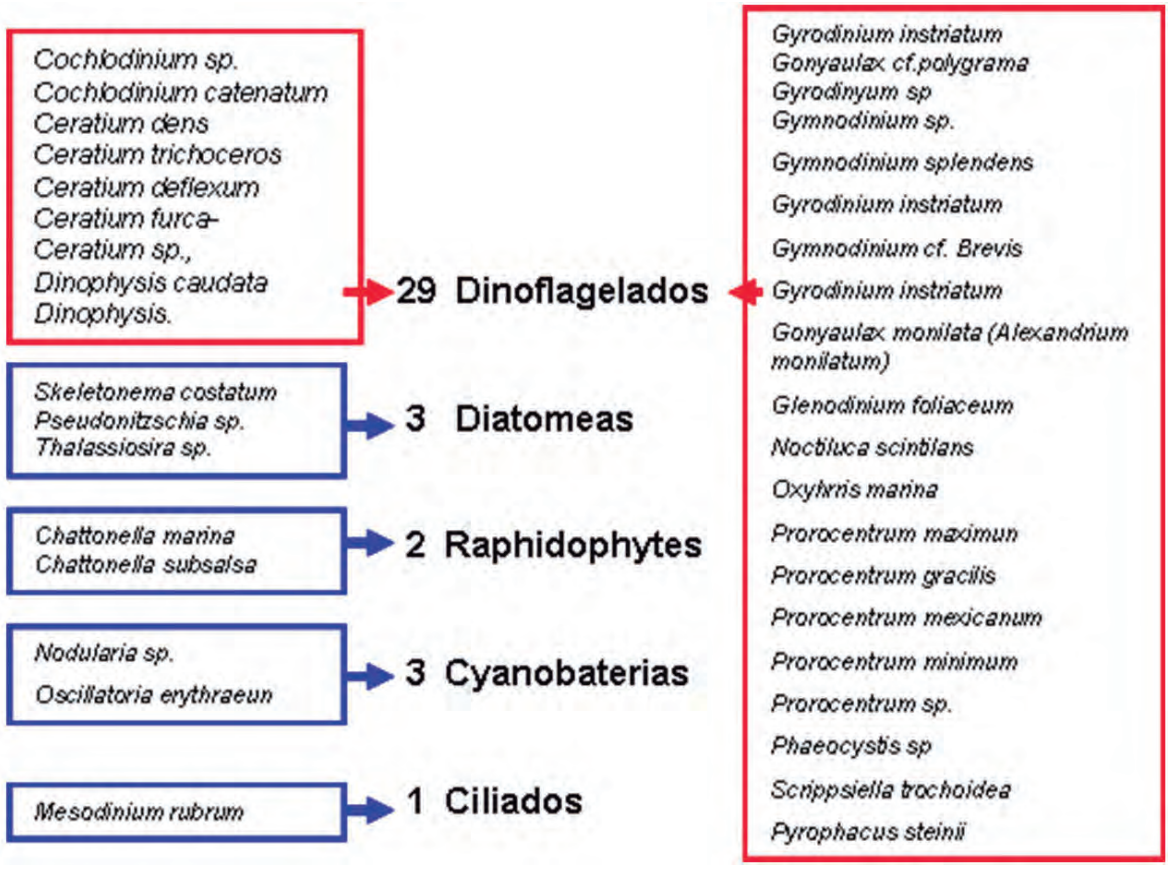



**Figura 7.** Especies que han causado eventos de mareas rojas en Ecuador (1968-2009).

Los eventos causados por *M. rubrum*, siete de ellos ocurrieron años fríos como La Niña (1996 y 2000) y dos eventos durante El Niño (años 1981 y 1991); 2 eventos fueron coincidentes con mortalidad masiva de peces 1986 y 1996). Con estos registros se evidenció que el grupo de dinoflagelados fueron los que prevalecieron en los eventos de mareas rojas.

Las condiciones oceanográficas en la zona costera del mar ecuatoriano, han permitido escasos eventos de mareas rojas y que sean de corta duración, lo cual puede ser aprovechado para implementar la maricultura (Olsen, 2011), pero con un buen manejo de los nutrientes (Tsukamoto, 2002).

Estos resultados han evidenciado el alto riesgo de tener futuros episodios tóxicos en nuestra costa, como los registrados en los países vecinos (Perú y Colombia); hay que considerar la urgencia de establecer reformas en las políticas sectoriales y programas de manejo, que disminuyan en crear hábitats propicios para la formación de blooms algales (mayor contaminación y nutrientes), en implementar laboratorios con equipos especializados para biotoxinas, difusión de esta problemática a todo nivel, así como las medidas preventivas y de control de especies invasoras contenidas en el agua de lastre de buques.

Existe extensiva literatura sobre los organismos que causan mareas rojas, muy pocas publicaciones enfocan los impactos socioeconómicos, los que han sido divididos en 4 principales sectores: salud pública, pesca comercial, recreación-turismo y esfuerzo en el monitoreo-manejo con sus posibles técnicas de mitigación. Sin embargo, es importante como la percepción pública percibe estos riesgos en su salud y económica local.

No existe un método científico de predecir la aparición de estas mareas rojas. El adelanto tecnológico (mapeos de clorofila), el continuo monitoreo del fitoplancton y variables ambientales en sitios de mayor ocurrencia (retrospectivo), se necesita disponer de mecanismos gubernamentales de proyectos de observación prospectiva permanente

(Oceanografía operacional) dependientes de la necesidad de los usuarios, que permitan detectar y predecir con rapidez los fenómenos costeros y su difusión, a fin de reducir los impactos económicos principalmente al sector productor acuícola- maricultor y sitios de mayor pesca.

## CONCLUSIONES:

Durante este estudio las mareas rojas se iniciaron desde 1968 hasta el 2009, se evidenciaron 131 eventos de mareas rojas. Los años de mayor ocurrencia fueron en 1985, 2001 y 2003.

El área geográfica de mayor ocurrencia de marea roja y mortalidad de organismos se localizó en el Golfo de Guayaquil (canales internos del estero Salado y río Guayas y frente al borde costero de la provincia de El Oro), la misma que es coincidente con el área más productiva del sector camaronero.

Se registraron treinta y siete especies causantes de mareas rojas, siendo la clase Dinophyceae que presentó veintiocho especies de dinoflagelados, los que pueden formar “blooms” nocivos, en su mayor parte son cosmopolitas. Las Cyanophyceae, Bacillariophyceae y Raphidophyceae registraron el menor número de especies. En veintiséis eventos fueron relacionados con la mortalidad de organismos, en su mayor parte ocurrieron en el Golfo de Guayaquil.

En marzo, abril y mayo, fueron los meses de mayor ocurrencia de marea rojas y mayor densidad algal, que permitirá establecer una planificación de un Sistema de Alerta Temprana en los futuros muestreos de calidad de agua de los ecosistemas costeros y su difusión inmediata con el sector productor acuícola camaronero/piscicultor y comunidades pesqueras costeras.

## BIBLIOGRAFÍA:

**Black E. 2001.** A Risk Assessment Approach to HAMM forAquaculturists. HAMM. In http://www.cfsan.fda.gov/~frf/hamm01ab.html.

**Coello D. 2003.** Mareas rojas en el Ecuador.Informe del Instituto Nacional de Pesca. VI Taller REGIONAL COI FANSA sobre Floraciones Algales Nocivas en Sudamérica, Guayaquil.

**Coello D. 2007.** Marea roja ocasionada por Scripsiella trochoidea en el estuario del río Chone (mayo 2007). Informe INP.

**Coello D., Cajas J., Macias P., Calderón G., y J. Lindao. 2009.** Calidad de agua frente a BajoAlto (Canal de Jambelí), durante junio 2009. Informe INP. 11pp.

**Fogg G. 2002.** Harmful Algae: A Perspective. Harmful Algae 1: 1-4.

**Fournier M., 2009.** La zona Marino Costera.Undécimo informe sobre el estado de la nación en desarrollo humano sostenible. Informe final.

**GEOHAB, 2004.** Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal "bloom": Science Plan. P. Glibert and G, Pitchers (Eds.). SCOR and IOC, Baltimore and Paris, 87.pp.

**Hallegraeff G. 2002.** Aquaculturist Guide to Harmful Australian Microalgae. 2nd.Edition. Universidad de Tasmania, Australia.

**Hallegraeff G. 2004.** Harmful Algal "bloom"s:A Global Overview. In Manual on Harmful Marine Microalgae. Editedby G. Hallegraeff, D. M., Anderson, and A.D. Cembella, A.D.
Hansen G., Turquet J., Pasca J., Ten-Hage L-. Lugomela C., Kyewalyanga M., Hurbungs M.,

**Wawiye P., Opongo B., Tunja S., and H. Rakotoarinjanahary. 2001.** Potentially Harmful microalgae of the Western Indian Ocean: a guide base a preliminary survey. IOC Manuals and Guides Nº 41, UNESCO.

**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., 1993.** Ecological factors related to Gyrodiniuminstriatum "bloom" in the innerestuary of Gulf of Guayaquil. Toxic Phytoplankton "bloom"s in the sea. T.J.Smayda and Y. Shimizueditors.

**Jiménez R., 1996.** Biología, Ecología yAcuacultura (segunda parte). En Sistemas Biofísicos en el Golfo de Guayaquil. Comisión Asesora Ambiental de la Presidencia de la República (CAAM).

**Jiménez R., y E. Gualancañay, 2006**. Floraciones de Mesodiniumrubrum en los procesos de surgencia en el Pacífico Ecuatorial. Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR. 13 (1): 65-72.

Lindehoff E., Granéli E., and W. Granéli, 2009. Effect of tertiary sewage effluentadditions on Prymnesium parvum cell toxicity and stableisotope ratios. HarmfulAlgae, 8: 247-253.

Masó M. 2003. Harmful Algal Blooms and Nutrients. Workshop on Marine-Based Public Health Risk International Marine Center. Italy.

**Olsen Y., 2011.** Resourses for fishfeed in futuremariculture. Aquacul. Environ. Interact. 1: 187-200.

**Reguera B., 2002.** Establecimiento de un programa de seguimiento de microalgas tóxicas.

En Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Américano, Sar E., M. Ferrario y B. Reguera (eds). Instituto Español de Oceanografía.

**Sournia A. 1978.** Phytoplankton manual. Monographson Oceanographic methodology 6. UNESCO.

**Torres G., 2000.** Ocurrencias de Mareas Rojasdurante 1989-1999, en aguas Ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR, Ecuador), 10 (1): 127-136.

**Torres G., y C. Palacios, 2007.** "Bloom" de Noctiluca scintilans y Ceratium dens en el Golfo de Guayaquil (2004). Informe científico. Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR, Ecuador), 14 (1): 125-130.

**Torres G. 2012.** Eventos de mareas rojas:Estrategias de manejo preventivas en Ecuador.

Tesis de Grado Magister en Ciencias. Universidad de Guayaquil.

**Tsukamoto R., 2002.** Tratamiento Primario Avanzado: El Paradigma moderno de tratamiento de aguas residuales sanitarias.

**Twilley R., Cárdenas W., Rivera-Monroy V., Espinoza J. Suescum R., Montaño M. and L. Solórzano. 1999.** Ecology of theGulf of Guayaquil and the Guayas RiverEstuary. Informe.

**Utermohl, H., 1958.** ZurVervollkomnung der QuantitativenphytoplanktonmethodikMitt Inter. Ver. Limnol, 9:1-38.

# FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS VIVOS EN CONDICIONES NORMALES DEL MAR ECUATORIANO Y DURANTE EL EVENTO "EL NIÑO" 1997 – 1998

Maria Luzuriaga-Villarreal [1]


## *RESUMEN*

*La dirección, desplazamiento y características físico-químicas de las corrientes oceánicas, inciden en los cambios de la biodiversidad marina frente a Ecuador; la sensibilidad a las variaciones del ambiente de especies planctónicas como los foraminíferos planctónicos, las convierten en herramientas vivas de detección de cambios del ecosistema marino en un momento dado. Con tal propósito, este trabajo trata la distribución y relaciones ecológicas de los de foraminíferos planctónicos vivos, encontrados en el mar ecuatoriano entre 1988 a 1998. Se colectaron muestras de zooplancton durante cruceros oceanográficos realizados desde la costa continental hasta Long. 92° W al oeste de las Islas Galápagos, y en la estación fija "La Libertad" - Península de Santa Elena, desde 1993 a 1998. Las especies, Globigerinoides sacculifer, G. ruber, Globorotalia menardii se perfilaron como indicadoras del desplazamiento de aguas cálidas de la Cuenca de Panamá y Globigerina bulloides, como indicadora del avance desde el sur de aguas de la Corriente de Humboldt, tipificando también fauna de aguas oceánicas ricas en fitoplancton y productividad primaria. G. sacculifer y G. ruber predominaron durante el Evento "El Niño" 97-98 a lo largo de toda la costa ecuatoriana. Globoquadrina dutertrei se asocia con zonas de mayor mezcla de aguas de distinta procedencia y/o épocas de drásticos cambios ambientales en el ecosistema. Los cambios observados en la composición de especies a través del tiempo en la estación fija de La Libertad, perfilan a G. sacculifer como la más importante especie indicadora del Evento "El Niño" 1997 -1998, en su etapa madura.*


***Palabras Claves:*** *indicadores biológicos, distribución, corrientes, zooplancton, productividad, Globigerina*


## *ABSTRACT*

*The direction, displacement and physicochemical characteristics of ocean currents, affect marine biodiversity changes in front of the coast of Ecuador; sensitivity to changes in the environment of planktonic species such as planktonic foraminifera, make them living tools to detect changes in the marine ecosystem at any given time. With this purpose, this paper discusses the distribution and ecological relationships of living planktonic foraminifera, found in Ecuadorian sea from 1988 to 1998. Zooplankton samples were collected during oceanographic cruises performed from the continental coast to 92 ° W to the west of the Galapagos Islands, and the fixed station "La Libertad" - Santa Elena Peninsula. Globigerinoides sacculifer, Gruber, Globorotalia menardii emerged as indicators of warm waters of the Panama Basin, and Globigerina bulloides, as an indicator of the displacement from southern waters of the Humboldt Current, also typifying ocean waters fauna rich in phytoplankton and primary productivity. G. sacculifer and G. ruber were predominant during "El Niño" 97-98 along the whole Ecuadorian coast. Globoquadrina dutertrei is associated with the greatest mixing of waters areas from different sources and / or season of drastic environmental changes in the ecosystem. The observed changes in species composition over time in the fixed station La Libertad draw the attention to G. sacculifer as the most important indicator species of "El Niño" 1997 -1998, in its mature stage.*


***Keywords:*** *biological indicators, distribution, currents, zooplankton, productivity, Globigerina*

[1] 1 Instituto Nacional de Pesca (INP) email: mluzuriaga@institutopesca.gob.ec

*= Presentado en el Simposio Internacional del Medio Ambiente – CPPS – Guayaquil – Ecuador – Dic/ 98

## INTRODUCCIÓN

Los foraminíferos planctónicos, integrantes del zooplancton marino, de tamaño inferior a 1 mm, pertenecen al Filo Protozoa, Clase Sarcodina, Subclase Rizópoda, Orden Foraminiferida. Poseen un cuerpo “blando” o protoplasma que se encuentra dentro del caparazón o conchilla formada en su mayor parte por carbonato de calcio. El caparazón poseee forámenes por donde salen los reticulopodios o espinas que les sirve para flotar y alimentarse. La primera cámara donde se forman es el prolóculo, que se observa en el lado dorsal y una gran abertura en el lado ventral.

Los foraminíferos planctónicos no tienen movimiento propio y habitan en capas de agua con determinadas características fisico-quimicas, por lo que se puede conocer la preferencia o resistencia de algunas especies con respecto a los diversos parámetros ambientales: temperatura, salinidad, nutrientes (Miró 1971a). Estos organismos permiten conocer el origen y desplazamiento de las corrientes y masas de agua. (Bé 1967, Boltovskoy 1970, Miró 1971 a,b, Luzuriaga 1980, 1992, 2009). Al morir, sus caparazones caen al fondo del océano pasando a formar parte de los sedimentos en un área mas o menos cercana a la que vivieron, donde permanecen por largos períodos geológicos, como testigos de que ocurrió en el pasado, de allí la importancia de su estudio en las ciencias geológicas (Miró 1971a).

Sobre la base de estas características de los foraminíferos planctónicos, Boltovskoy (1966, 1968, 1970) en su estudio hidrológico de la zona de convergencia subtropical - subantártica en el Océano Atlántico, primero estudiaba el tipo de fauna de una masa de agua y después analizaba la temperatura y salinidad. Según este autor, el hallazgo de especies de aguas de altas latitudes en bajas latitudes, es evidencia que hasta estos paralelos llegan en cantidades muy pequeñas, comezclas de aguas traidas desde el sur. Esto confirma que los foraminíferos son más conservadores en lo que se refiere a origen de masas de agua, si los comparamos con las propiedades físico- químicas. Según estas últimas sería imposible detectar en las áreas cálidas, comezclas de aguas frías (Boltovskoy 1966).

En base a foraminiferos planctónicos sedimentados, Gajardo et al (2013), evidenció también, asociaciones típicas de aguas subantárticas durante condiciones normales y durante el evento La Niña en el mar de Chile, mientras que, durante El Niño encontró comezcla con especies de aguas cálidas.

Por la particularidad de que el mar ecuatoriano está sometido a la influencia de masas de agua de distinta procedencia y cuya mezcla forma una zona de convergencia frente a la costa del Ecuador, un estudio de indicadores biológicos en el área resulta de suma importancia para caracterizar las diferentes masas de agua, áreas de afloramiento costero y oceánico, áreas ricas y pobres en nutrientes. El conocimiento del comportamiento y ecología de las especies de foraminíferos planctónicos, llevaría a advertir la evolución de eventos oceanográficos como "El Niño", “La Niña” y a interpretar en un momento dado la calidad del ecosistema donde habitan peces, crustáceos y moluscos, muchos de ellos de valor comercial. Un aviso temprano del advenimiento del Evento "El Niño", permitiría dar la voz de alerta a la comunidad y sectores de decisión para tomar las medidas necesarias, previendo desastres y pérdidas humanas.

Uno de los primeros trabajos sobre foraminíferos planctónicos realizados en el Pacífico, están los de la expedición CHALLENGER entre 1873-1876, los trabajos de Bradshaw (1959), Parker (1960, 1962 y 1971); Todd (1965), Boltovskoy (1963, 1966, 1974 a, b, 1976 a, b), Bolstovskoy y Wantanabe (1975).

En 1971, en aguas ecuatorianas se realizaron comparaciones de distribución de los foraminíferos planctónicos colectados en aguas superficiales y en los sedimentos del fondo oceánico adyacente (Miró y Luzuriaga (1974).

Posteriormente se hicieron observaciones del desplazamiento de fauna de foraminíferos planctónicos de aguas cálidas a lo largo de la costa de Ecuador durante El Niño 1972 y fauna de masas de agua de distinta procedencia en épocas normales del mar (Luzuriaga 1992).

En la estación Fija La Libertad, se realizó un estudio bioecológico de los foraminíferos planctónicos como indicadores del hábitat de larvas de peces colectadas durante 1997 (Luzuriaga de Cruz et al, 1998).

El propósito principal de este trabajo es caracterizar el ecosistema marino, en base a la distribución y abundancia de las principales especies de foramniníferos planctónicos presentes en el mar ecuatoriano durante épocas normales del ecosistema (marzo 1988), y durante condiciones El Niño (febrero y abril 1992). También en la estación fija “La Libertad”, entre 1993 – 1998, donde se registraron diferentes condiciones del ecosistema, siendo El Niño 1997 – 1998, el eventó anómalo de mayor importancia

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el mar ecuatoriano, desde la costa hasta la Long. 92° W entre Lat. 01° 22’N y Lat. 03° 16’S. (Figura1 a-c). y la estación costera de "La Libertad" situada 10 millas costa afuera de Salinas – Península de Santa Elena en Lat. 02º 08' S-Long. 81º 03' W, donde se llevó a cabo un monitoreo continuo de plancton desde el segundo trimestre del año 1993 hasta 1998.

El mar ecuatoriano se distingue por estar bajo la influencia de dos sistemas de corrientes de distintas características físico-químicas, la procedente del norte, cálida y de baja salinidad y la proveniente del sur, de bajas temperaturas y alta salinidad. Estas dos masas de agua forman la convergencia o Frente Ecuatorial cuya posición varía en cada época del año (Enfield 1975). En febrero y abril de 1992 y en 1997 - 1998, no se observó esta zona de mezcla frente a costas del Ecuador, predominando las aguas cálidas mayores a 25°C de temperatura debido a la presencia del Evento de “El Niño”, presente en estas épocas (Figuras 2 y 3).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis cualitativo y cuantitativo de los foraminíferos se analizaron alrededor de 108 muestras de plancton recolectadas durante diferentes campañas oceanográficas. De éstas, 45 muestras se colectaron durante los meses de marzo de 1988, febrero y abril de 1992 a bordo del B/I TOHALLI, perteneciente al Instituto Nacional de Pesca del Ecuador y 72 muestras de plancton superficial se colectaron en la Estación Fija "La Libertad" desde agosto de 1993 hasta agosto de 1998 a bordo de embarcaciones pertenecientes a la Armada del Ecuador.

La localización de las estaciones se encuentra en la figura 1 a-c. En marzo de 1988, 16 muestras correspondieron a arrastres oblicuos de 200 metros de profundidad, utilizando redes bongo de 200 micras. También se hicieron arrastres horizontales superficiales de 5 minutos de duración, usando redes cónicas simples de la misma malla. En la estación fija de “La Libertad” se realizaron muestreos mensuales en aguas superficiales y en la columna de agua de 0 – 50 m de profundidad, utilizando redes cónicas simples de 250 micras de abertura de poro de la malla y 32 cm de diámetro de boca de la red. Para el presente trabajo se reportan los resultados de monitoreos en aguas superficiales de la estación fija de Salinas.

En el laboratorio se procedió a contar los organismos del total de la muestra, los resultados fueron llevados a metro cúbico de agua filtrada, calculando luego su porcentaje respecto al total de toda la población.

Entre las claves de identificación y guías de trabajo que se utilizaron, están: Bé (1959, 1967), Boltovskoy (1965, 1974 a, b, 1981), Miró (1971 a, b), Parker (1962).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN
### Condiciones ambientales

Según Enfield (1976), Wirkly (1966) y Strub et al (1997), cuatro son las principales masas de agua superficiales que influyen en el Pacífico, entre 15º N y 15º S al este de Long. 100º W:

Aguas tropicales superficiales: Temperatura >25ºC Salinidad <33.5 ppm
Aguas subtropicales superficiales: Temperatura >20º y <28ºC Salinidad >35 ppm
Aguas corriente de Humboltd: Temperatura <19ºC Salinidad >33.5 y <35 ppm
Aguas ecuatoriales superficiales: Temperatura >20ºC y <24ºC Salinidad >33.5 y <35 ppm

Según este esquema y tomando en cuenta tan sólo la temperatura y salinidad, en marzo de 1988, (Figura 2), las aguas ecuatorianas se encontraron bajo la influencia de aguas subtropicales superficiales desde el meridiano 85º W hasta Galápagos y aguas ecuatoriales superficiales al este de dicho meridiano; y en mezcla con aguas de la Corriente de Humboltd, en el sureste, alrededor del meridiano 82º W y Lat. 03 ° S. Agua tropical superficial estaría bordeando las costas de Ecuador.

En febrero y abril de 1992, las costas ecuatorianas estuvieron bajo la influencia del evento El Niño, y aguas tropicales superficiales con temperaturas de 26 a 29° C se encontraron a la altura del Golfo de Guayaquil (Figura 3).

En la estación Fija "La Libertad", la temperatura osciló entre 18.9º C y 29.8º C y salinidad entre 30.1 ppm y 35.6 ppm. Tomando en cuenta la clasificación de masas de agua de Enfield (1976) según Strub et al (1997), el área marina de la Península de Santa Elena, estuvo influenciada en la mayor parte del tiempo, desde 1993 a 1996, por aguas ecuatoriales superficiales, con cortos períodos de desplazamiento de la Corriente de Humboltd. En noviembre, diciembre de 1996 aguas tropicales superficiales invadieron el área en mezcla, desde abril de 1997, con aguas ecuatoriales superficiales. Masas de agua tropical superficial proveniente de la Cuenca de Panamá dominaron la Estación Fija de Salinas desde noviembre de 1997 a octubre de 1998.

## DISTRIBUCIÓN
### *Globoquadrina dutertrei* (d' Orbigny).

*Globoquadrina dutertrei* constituyó una de las especies más abundantes en todas las épocas de estudio. Bradshaw (1959), Parker (1960), Boltovskoy (1970), Miró (1971 a, b) la interpretan como especie propia de aguas cálidas y de transición.

En marzo de 1988 (Figura 4), se observaron las mayores concentraciones hacia la latitud 00º en aguas superficiales, al norte del Golfo de Guayaquil y sur de la Isla Isabela en aguas subsuperficales. Fué la especie dominante en los arrastres de plancton de 0 a 200 metros en toda el área durante esa época. En febrero de 1992, *G. dutertrei* fue la más abundante en la parte sur del área de estudio (>70%), a la altura del Golfo de Guayaquil, disminuyendo para el mes de abril, cuando las "anomalías" del Evento El Niño (según indicadores biológicos: composición de especies de foraminíferos) se acentuaron, disminuyendo la mezcla de aguas (Figuras 10a y 11a).

En la estación fija "La Libertad", desde 1993 a 1998, la distribución de *G. dutertrei* fué constante, presentando sus mayores porcentajes en octubre de 1993, junio de 1994, mayo de 1997 y agosto de 1998, 50%, 75 %, 36% y 50%, respectivamente, (Figura 12), épocas coincidentes con cambios climáticos como el de inicio y debilitamiento de "anomalías" de El Niño (octubre/93, may/97, agosto/98) y mayor mezcla de aguas. Según datos físicos (fuente Dpto. CC Mar, INOCAR), en junio de 1994 se tuvo mayor influencia de aguas de la Corriente de Humboltd, en mezcla con aguas subtropicales y ecuatoriales superficiales.

La distribución de *G. dutertrei*, en el mar ecuatoriano concuerda con el esquema que hace Boltovskoy (1970), localizando el límite medio de la zona de transición a la altura del Golfo de

Guayaquil. Durante el mes de diciembre de 1972, cuando estaba presente el Evento El Niño, *G, dutertrei* dominó a todo lo largo de la costa ecuatoriana, con porcentajes mayores al 50 % en ciertas zonas costeras (Luzuriaga 1976). Durante el Evento El Niño 1997-98 bajó el porcentaje de esta especie, desde julio de 1997 a agosto de 1998, en forma continua. A finales de agosto de 1998 se elevó otra vez, como se ha mencionado en el párrafo anterior, al 50% del total de la población de foraminíferos (Figura 12).

### *Globigerinoides ruber* (d' Orbigny)

*Globigerinoides ruber* se distribuyó en mayor abundancia en las aguas cálidas provenientes de la Cuenca de Panamá y en áreas costeras. En marzo de 1988, se encontraron escasos ejemplares de *G. ruber*, los mismos que prefirieron aguas tropicales de la Cuenca de Panamá, en el área norte, tanto en superficie como en profundidad. En aguas subsuperficiales la mayor concentración (>20%), se encontró al sur de la Isla Isabela, al oeste de las Islas Galápagos y en el extremo norte del área, meridiano 81° W ((Figura 6 a,b). Fue escasa (< 10%), en las estaciones muestreadas en febrero de 1992 y entre 10 – 20% en abril del mismo año. *G. ruber* se encontró abundante entre 1993 a 1998 en la estación fija de Salinas, disminuyó su porcentaje en 1996 y 1997 (Figura 12), situándose durante El Niño 1997 – 1998 en segundo lugar en abundancia después de *Globigerinoides sacculifer.*

### *Globigerinoides sacculifer* (Brady)

*G. sacculifer* distribuye sus máximas concentraciones en las aguas oceánicas más cálidas, provenientes de la Cuenca de Panamá, en la parte norte del mar ecuatoriano durante épocas normales. Según diagrama T-S, los mayores valores de esta especie, correspondieron al desplazamiento de las aguas tropicales superficiales provenientes de la cuenca de Panamá (Luzuriaga, 1992). En marzo de 1988, *G. sacculifer* siguió el mismo patrón de distribución que *G. ruber*, limitada a la parte norte del mar y al sur de la Isla Isabela en las Islas Galápagos (Figura 6). En 1992, se presentaron valores entre el 20% y el 50% de ejemplares pertenecientes a *G. sacculifer*, siendo su mayor abundancia en abril de 1992 (Figuras 10c y 11c).

En la estación fija "La Libertad", *G. sacculifer* no se encontró desde enero de 1993 hasta agosto de 1994 y desde mayo hasta agosto de 1996, se presentó otra vez en noviembre de 1996 y a partir de marzo de 1997 hasta 1998 (Figura 7). Los porcentajes de *G. sacculifer* se incrementaron a partir de marzo de 1997 en forma continua, con un máximo en enero de 1998, cerca de un 100%, bajando hasta abril del mismo año en alrededor de un 15% e incrementándose a partir de mayo y bajar otra vez a 10% en octubre de 1998, lo que coincide con un incremento de *G. ruber* en la estación fija de Salinas. El comportamiento de *G. sacculifer*, marcó el nivel de "anomalías" acontecidas en el mar ecuatoriano, señalando la rigurosidad del Evento El Niño 1997 –1998.

### *Globorotalia menardii* (d' Orbigny)

*Globorotalia menardii* se localizó en mayor porcentaje en las aguas cálidas procedentes de la corriente de Colombia, en el área costera u oceánica. En marzo de 1988, *G. menardii* fué encontrada en arrastres oblicuos, dos parches, entre 3% al 7% se hallaron al oeste de la Isla Isabela y extremo norte del área de estudio, en el meridiano 82° W, respectivamente (Figura 8b). No se encontró en aguas superficiales durante esta época.

En 1992, cuando estaba presente el Fenómeno "El Niño", se obtuvieron entre 20% y 50% de ejemplares de esta especie en el meridiano 82ºW a la altura del Golfo de Guayaquil (Figuras 10b y 11b). *G. menardii* se la observó tipificando "anomalías" del ecosistema en la estación fija "La Libertad" durante 1993, de octubre de 1994 a marzo de 1996, en noviembre de 1996 y desde junio de 1997 hasta octubre del mismo año, apareciendo otra vez en abril de 1998. En el período de mayo a octubre de 1998, esta especie

no se encontró en aguas superficiales del área costera de Salinas (Figura 12). Según Miró (1971a) esta especie es propia de aguas tropicales y subsuperficiales.

### *Globigerina bulloides* d'Orbigny

Esta especie es traída por las aguas frías y ricas en nutrientes de la Corriente de Humboldt procedentes del sur (Luzuriaga 1992). En marzo de 1988, *G. bulloides* presentó porcentajes mayores al 40% (en aguas superficiales) y 20 % (en aguas subsuperficiales) en el área oceánica del Golfo de Guayaquil, en los meridianos 85° W y 92° W, respectivamente (Figura. 7). La mayor densidad se halló en el extremo norte del área, en el meridiano 92°W al oeste de las Islas Galápagos en aguas superficiales, siendo este lugar y el área central del área, en el meridiano 85ºW, potenciales áreas de afloramiento. En 1992 se reportó > 20% de *G. bulloides*, en la parte sur del área de muestreo lo cual indica el grado de influencia de aguas de la Corriente de Humboltd durante los meses de estudio (Figuras 10d y 11d.).

De 1993 a 1998, en la estación fija, *G. bulloides* se ha comportado como la especie que ha señala el debilitamiento de las "anomalías positivas" ocurridas durante el período de 1993 a 1998, indicando la intrusión de aguas frias en determinadas épocas en el área de Santa Elena. Numerosos ejemplares correspondientes a esta especie se encontraron en 1994 y 1996, años considerados por oceanógrafos físicos como normal y frío, respectivamente (Figura 12). En octubre de 1998, en la estación fija "La Libertad" ocurrió la mayor influencia de aguas frias, (28% de *G. bulloides*), desde que se inició el Evento El Niño en 1997.

### *Orbulina universa* d' Orbigny

Estuvo presente en casi todas las épocas en forma aislada. En marzo de 1988 se distribuyó regularmente, aunque en un porcentaje menor al 7 %, el mismo que fué localizado en aguas subsuperficiales en el meridano 82º W frente a Manta ((Figura 9a).). En febrero de 1992 esta especie representó el 1% de la fauna de foraminíferos en el meridiano 82° W frente a la Puntilla de Santa Elena.

Fué observada en la estación fija de Salinas (Figura 1c), en agosto de 1993, octubre de 1994, octubre de 1997, febrero y mayo de 1998 en porcentajes menores al 4 %. Tan sólo en febrero de 1998, el porcentaje de esta especie llegó al 25 %. La forma de *Orbulina universa* cf. *Globigerina bulloides* fue encontrada durante los tres últimos meses mencionados.

### *Globigerinoides conglobatus* (Brady)

En el área oceánica, durante el mes de marzo de 1988 y en el área de la Península de Santa Elena, se encontró tan sólo el 2% en la estación 11, al oeste de las Islas Galápagos, con temperaturas de 25.9º C y 35.07 ppm de salinidad (Figura 1 a). En 1992, menos del 6% de ejemplares pertenecientes a *G. conglobatus* se distribuyeron en las estaciones 12 y 14 en febrero y en las estaciones 31 y 14 en abril (Figura 1 b-c). Todos de caparazón híspido, de frágil apariencia. En la estación fija de "La Libertad" esta especie se encontró en julio y septiembre de 1993, junio y octubre de 1994, febrero y octubre de 1995, junio, octubre y noviembre de 1997, junio de 1998, siempre en porcentajes menores al 3% a excepción de los meses de febrero y octubre de 1995 cuando se hallaron porcentajes de 7% y 8%, respectivamente.

La presencia de *G. conglobatus* se la relaciona con condiciones de "anomalías" térmicas en el mar.

### *Globigerinella aequilateralis* (Brady)

Se distribuyó regularmente en marzo de 1988, con un máximo del 15% del total de foraminíferos, frente a costas de Manabí (Figura 9b). En aguas superficiales se presentó en parches en las dos estaciones extremas frente a costas de Esmeraldas (< 8%), y al norte de la Isla Isabela, 11%. En febrero y abril de 1992 se halló entre 1% y 5% en las estaciones

muestreadas en el meridiano 82° W, un máximo de 7% correspondió a la estación localizada a la altura de Ayangue en dicho meridiano. En la estación fija "La Libertad" ocupó el quinto lugar en abundancia, menos del 10% y estuvo presente en la mayoria de los muestreos, siendo frecuente desde marzo de 1997 hasta octubre de 1998, el mayor porcentaje, cerca del 50% correspondió al mes de junio de 1997 (Figura 12).

### *Globigerina falconensis Blow*

*Globigerina falconensis*, ha sido muy escasa en los muestreos realizados en el mar ecuatoriano. En marzo de 1988, se distribuyó en forma aislada y escasa en el mar, entre 1 y 2%, en las estaciones 5, 7, 9, 12 y 15 en aguas subsuperficiales y en la estacion 7 en aguas superficiales (Figura1a). Llegó al 9% al oeste de las Islas Galápagos. *G. falconensis* no fué encontrada en las estaciones estudiadas en 1992. En la estación fija de "La Libertad" se halló en los meses de mayo de 1995, junio, septiembre y octubre de 1997 y agosto de 1998, en un 14, 2, 6, 0.5 y 4 %, respectivamente. Por su distribución, *G. falconensis* se relaciona con la distribución de *G. bulloides.*

### *Globigerina calida Parker*

Bradshaw (1959) encontró esta especie en el Océano Pacífico Tropical. En aguas ecuatorianas *G. cálida* es muy escasa y de irregular distribución. En marzo de 1988, no se la encontró en aguas superficiales, pero sí en profundidad, con mayores valores en la parte central del área de estudio, en los meridianos 82° W y 85° W, 8% y 3% respectivamente. En febrero de 1992 se la encontró en la estación 8 en un 1% (Figura 1b). En la estación fija de Santa Elena fué identificada en junio de 1993, julio de 1995, y en diciembre de 1997, en un 1%, 3% y .0.5% del total de la población de foraminíferos encontrados en cada mes.

### *Globigerina rubescens* **Hofker**

En marzo de 1988, *G. rubescens* se encontró en aguas subsuperficales, en Lat. 01°N - Long. 85°W y en Lat. 01° 59' S - Long. 91° 45' W en un 1% y 2%, respectivamente (Figura 1 a). En febrero de 1992 se encontró un 1% frente al Golfo de Guayaquil. En la estación fija de "La Libertad" también se presentó entre 1% y 2% en los meses de julio y agosto de 1993, octubre de 1994 y en julio de 1997. Su distribución aunque escasa, muestra preferencia por las aguas cálidas.

### *Globigerinita glutinata* **(Egger)**

*G. glutinata* prefirió aguas subsuperficiales, fué encontrada en porcentajes menores al 15% en marzo de 1988. Los mayores porcentajes de 14%, 13% se dieron hacia el extremo noreste, frente a la Provincia de Esmeraldas y al sur de la Isla Isabela, respectivamente (Figura 8a). En aguas superficiales, se encontró en las estaciones 5 y 7, en un 2% y 5% (Figura 1 a). En febrero y abril de 1992 esta especie presentó porcentajes menores al 5% en el área de estudio. De 1993 a 1998, en la estación fija "La Libertad" *G. glutinata* ocupó el 7° lugar en abundancia, con un promedio anual menor al 5% del total de foraminíferos. Su distribución estaria relacionada a la de *G. aequilateralis.* Presentó mayores concentraciones del 20 % al 40 % en febrero, marzo, abril y en octubre de 1995 (Figura 12).

### *Pulleniatina obliquiloculata* **(Parker y Jones)**

*Pulleniatina obliquiloculata* ha sido escasa en el mar ecuatoriano. Ausente en marzo de 1988. Durante 1992, en el meridiano 82º W se halló *P. obliquiloculata* cf. *G. inflata* en un 3%, en Lat. 03º 25' S durante el mes de febrero y *Pulleniatina obliquiloculata*, 1%, en Lat. 01º 44' S durante el mes de abril. En la estación fija de Santa Elena, *P. obliquilocula* se presentó de octubre a diciembre de 1994 y junio de 1995. El porcentaje de esta especie respecto al total de foraminíferos capturados en las épocas mencionadas, correspondió al 17% en el mes de octubre y menos del 1% en los meses restantes. La forma *P. obliquiloculata* cf. *G. inflata* se encontró tan sólo en octubre de 1997, en menos del 1%.

### *Globorotalia inflata* (d' Orbigny)

En aguas ecuatorianas estas formas se presentaron aisladamente. La aparición de formas intermedias revelaría la influencia de aguas de mezcla en la fauna. G. inflata se encontró en la estación fija "La Libertad" en el mes de septiembre de 1996, en un 2% y en noviembre del mismo año se hallaron formas intermedias con *P. obliquiloculata*, 3 org/10m3, correspondientes al 1% de la población total de foraminíferos. A esta última forma de ejemplares se denominó *Globorotalia inflata* cf. *Pulleniatina obliquiloculata.*

### *Hastigerina pelágica* (d' Orbigny)

*Hastigerina pelágica* aunque escasa, se distribuyó regularmente en el mar ecuatoriano durante el mes de marzo de 1988. En aguas superficiales presentó los mayores valores en el meridiano 82º W, de 30% a 50%, disminuyendo hacia áreas más oceánicas (Figura 5a). En aguas subsuperficiales, se observó también regular distribución (< 8%), en los lugares de muestreo situados en los meridianos 82º W y 85º W. Los mayores porcentajes, entre 5 y 8% se localizaron en las estaciones 3 y 8, situadas en la Lat. 01º S en los puntos de intersección con los mencionados paralelos (Figura 5b). También estuvo presente en la estación 11 al sur de las Islas Galápagos. En 1992, *H. pelágica* presentó los mayores porcentajes, de 17% a 50% del total de la población de foraminíferos, en las estaciones 4 y 6 del mes de febrero, y de 27% y 32% en las estaciones 10 y 12 en el mes de abril. Estas estaciones estuvieron localizadas en y frente al Golfo de Guayaquil (Figura 1 b-c).

En la estación fija de "La Libertad" *H. pelágica* no es frecuente en aguas superficiales, se encontró menos del 2%, en noviembre y diciembre de 1994, octubre y diciembre de 1997. Porcentajes mayores de esta especie, 27% y 100% fueron encontrados en julio de 1995 y abril de 1997, respectivamente. En este trabajo, la especie mostró tendencia a predominar en aguas provenientes del sur y relacionadas con posible mezcla vertical de las aguas el Golfo de Guayaquil durante "El Niño" de 1992.

### *Globigerina quinqueloba* Natland

En marzo de 1988, pocos ejemplares de *G. quinqueloba* se localizaron en aguas subsuperficiales, estaciones 1, 7, 13 y 15 (Figura 1 a). En aguas superficiales, tan sólo se encontró en la estación 1, frente al Golfo de Guayaquil, donde su porcentaje representó el 52 % de la población en ese lugar, y el 7% en aguas subsuperficiales. La temperatura y salinidad superficial de la estación 1 fué de 20.39ºC y 34.85 ppm. Ausente en la estación fija de "La Libertad".

### *Globorotalia hirsuta* (d' Orbigny)

En marzo de 1988, se encontró el 3% en la estación 9, en aguas subsuperficiales (Figura 1 a). No ha sido reportada en 1992 ni en el área de Santa Elena, en la estación fija de "La Libertad". Bé (1967) considera a *G. hirsuta* como especie de aguas subtropicales

### *Globorotalia scitula* (Brady)

Esta especie es característica de aguas templadas, vive en las profundidades de la zona tropical, asciende a la superficie en las latitudes medianas y desaparece en las frías subantárticas (Boltovskoy, 1966). En el mar ecuatoriano, se encontraron ejemplares aislados de de *Globorotalia scitula.* En marzo de 1988 se encontró en aguas subsuperficiales en las estaciones 7 (<1%) y 15 (2%). No se halló en aguas superficiales durante los períodos de estudio desde 1992 a 1998.

### *Globigerinita bradyi* Weissner

Esta especie fué localizada en las estaciones 1 (3%), 7 (<1%) y 15 (1%) en aguas subsuperficiales durante el mes de marzo de 1988 (Fig. 1 a) y en la estación fija de "La Libertad" (8%) en octubre de 1995. Bé (1967) dice que *G. bradyi* habita en aguas subpolares, frias-templadas.

## Relaciones de abundancia entre las especies

Durante el mes de marzo de 1988, dominaron *G. bulloides* (33 %) y *H. pelágica* (20%) en aguas superficiales y *G. dutertrei* (52%) y *G. bulloides* (20%) en aguas subsuperficiales. En febrero y abril de 1992 predominó *Globorotalia menardii* (63%) y en la estación fija "La Libertad" *Globigerinoides ruber* (40%) y según la variación de las condiciones ambientales, *G. bulloides* en 1996 y *G. sacculifer* en 1997.

En general, las especies *G. sacculifer, G. bulloides, G. ruber, G. dutertrei, G. menardii y G. aequilateralis* han sido las especies dominantes en la estación fija "La Libertad", desde 1993 a 1998 y las mas importantes indicadoras de la variabilidad de las condiciones ambientales en el mar ecuatoriano (Figura 12).

*G. glutinata* fué escasa en el área de Santa Elena de 1993 a 1998. En el Golfo de Guayaquil ha sido importante la presencia de *G. ruber* y *G. bulloides*, aún en épocas anteriores y posteriores a eventos “anómalos” del mar, *G. ruber* mantuvo dominancia en casi todas las épocas estacionales en la estación costera de "La Libertad" y en todo el mar ecuatoriano durante los meses de febrero y mayo de 1998 (ERFEN 1998). (Figura 12). Los mayores porcentajes de las principales especies encontradas en el mar ecuatoriano durante el mes de marzo de 1988, se localizaron de la siguiente manera:

**Long. 82° W**

| | |
|---|---|
| Altura del Golfo de Guayaquil | *G. dutertrei*<br>*G. quinqueloba*<br>*G. brady*<br>*G. bulloides* |
| Altura de Manta | *G. aequilateralis*<br>*O. universa*<br>*H. pelágica*<br>*G. cálida* |
| Altura de Esmeraldas | *G. ruber*<br>*G. sacculifer*<br>*G. menardii*<br>*G. glutinata* |

**Long. 92° W**

| | |
|---|---|
| Oeste de las Islas Galápagos | *G. ruber*<br>*G. sacculifer*<br>*G. glutinata*<br>*G. bulloides* |

**Long. 85° W**

| | |
|---|---|
| | *G. bulloides* |

La mayoría de las especies descritas en este trabajo se encontraron tanto en superficie como en los niveles subsuperficiales. Las especies encontradas en profundidad y nó en superficie durante los cruceros de marzo de 1988 y febrero y abril de 1992, fueron: *Globigerinita bradyi* Weissner, *Globorotalia hirsuta* (d’Orbigny) y *Globorotalia scitula* (Brady).

## Relación entre especies y factores ambientales

Observando las áreas de mayor abundancia de los foraminíferos planctónicos, tenemos que *G. bulloides*, durante el mes de marzo de 1998, prefirió áreas del Golfo de Guayaquil, parte central del mar, en el meridiano 85º W y oeste

de las Islas Galápagos (Figura 7), lugares de elevada productividad primaria y secundaria. La cantidad de clorofila en los puntos mencionados fueron los más elevados de la época. La biomasa zooplanctónica representada por quetognatos, eufásidos, copépodos, entre otros, tuvo sus mayores concentraciones en estas zonas tanto en aguas superficiales como subsuperficiales (Clase 8 según Frontier 1969). Estos núcleos de mayor densidad de *G. bulloides* se ubicaron en rangos de temperatura <22ºC y >35 ppm de salinidad localizadas en el meridiano 85ºW y en Islas Galápagos, y con temperatura < 22ºC y <35 ppm de salinidad a la altura del Golfo de Guayaquil (Figura 2). Según clasificación de masas de agua realizadas por Enfield (1976) en Strub et al (1997), estos núcleos corresponderian a aguas ecuatoriales superficiales en mezcla con aguas de la Corriente de Humboltd en el extremo sur oriental del área de estudio y con aguas subtropicales superficiales hacia las Islas Galápagos (Figura 2).

La afinidad de *G. bulloides* con áreas productivas del océano se evidenció durante crucero de mayo 1973, cunado las mayores concentraciones de esta especie indicaron zonas de afloramiento oceánico localizado en el meridano 86°W y en una zona rica en clorofila y productividad primaria frente al Golfo de Guayaquil (Jiménez 1978, Luzuriaga 1980, 1992,). Durante El Niño 1972 *G. bulloides* fué sumamente escasa, ausente cerca de la costa y presente en mayor porcentaje, del 10- 20% en el Golfo de Guayaquil (Luzuriaga 1976).

A más de ser un buen indicador de aguas frias, ricas en nutrientes y zonas de surgencia, *G. bulloides* se perfila como indicadora de áreas de puesta de huevos y desarrollo de larvas de peces (Luzuriaga 2009).

Respecto a Globigerinoides sacculifer y *G. ruber*, estas especies presentaron en marzo de 1988, porcentajes mayores al 8% y 20%, respectivamente, en áreas donde *G. bulloides* fué escasa o ausente (Figura 6), así se observa al analizar la distribución de estas especies al norte del área en el meridiano 82º W, tanto en aguas superficiales como en subsuperficiales, también en la Lat. 02º S y Long. 92º W al oeste de las Islas Galápagos en aguas subsuperficiales. La temperatura y salinidad en este último punto fué > 24ºC y > 35 ppm en aguas superficiales (Figura 2 a-b).

*Globigerinita glutinata* y *Globorotalia menardii* tuvieron el mismo patrón de distribución que *G. sacculifer* y *G. ruber*, relacionada con masas de agua ecuatoriales superficiales al norte del área, y aguas subtropicales superficiales al sur de las Islas Galápagos. (Figura 8). *Orbulina universa, Globigerinella aequilateralis y Hastigerina pelágica* que se distribuyeron en casi toda el área de estudio en aguas subsuperficales, presentaron las máximas densidades frente a las costas de Manta (Figuras 5 y 9). La dominancia en aguas subsuperficles de *G. dutetrei*, reflejaria el estado de mezcla de las aguas, y la localización de las mayores densidades de esta especie se situarían en lugares de mayor convergencia.

Durante eventos El Niño 1972 y durante épocas normales del mar en 1973 se encontró significativas correlaciones entre *G. ruber, G. sacculifer* y *G. bulloides* con la temperatura y salinidad. *G. ruber* y *G. saculifer* tuvieron un alto índice de correlación positiva con la temperatura, mientras que *G. bulloides* tuvo un alto índice de correlación negativa con la temperatura y positiva con la salinidad (Luzuriaga 1980,1992). S e señaló hábitat de especies de foraminíferos planctónicos relacionadas a masas de aguas superficiales ecuatorianas y correlaciones con nutrientes y clorofila a.

Durante el mes de febrero de 1992, cuando estaba presente el fenómeno “El Niño”, se observaron porcentajes de 20% - 30% de *G. sacculifer, G. menardii* y *G. bulloides* frente a costas de la Provincia del Guayas y Golfo de Guayaquil (Figura 10). *G. sacculifer* y *G. menardii* desplazaron estos porcentajes mas al sur en el mes de abril, igual *G. bulloides. G. dutertrei* se halló en > 70% en el Golfo de

Guayaquil durante el mes de febrero, lo cual indica la mezcla de aguas frias de la Corriente de Humboltd con las aguas tropicales desplazadas por toda la costa ecuatoriana. La temperatura en el área de estudio durante los meses de febrero y abril de 1992 osciló entre 26º C y 29º (Figura 3).

En la estación fija de “La Libertad”, de las 35 especies identificadas, 7 especies fueron dominantes durante los muestreos realizados desde 1993 a 1998 (Figura 12). *G. ruber* parece ser especie endémica del lugar, la variación estacional de su abundancia se relaciona con las variaciones estacionales del zooplancton, cuya biomasa baja durante los períodos de estación lluviosa (primer trimestre del año) y se eleva durante la estación seca (Luzuriaga, datos no publicados). Este "ritmo" afecta a toda la población de foraminíferos, que se altera o cambia según las condiciones del medio marino lo cual permite evaluar el ecosistema en base al análisis del comportamiento de cada especie en relación con las condiciones bióticas y abióticas del ecosistema.

El monitoreo continuo de plancton en la estación fija de "La Libertad" permitió observar que *G. sacculifer* estuvo presente en forma continua durante el período de “anomalías” oceánicas del mar ocurridos en 1993 y entre agosto de 1994 a abril de 1996, volviendo a aparecer en octubre y noviembre de 1996 en porcentajes siempre menores al 20%, y, desde marzo de 1997 su presencia fué constante y número de ejemplares en aumento hasta representar un máximo de 94% de la población total de foraminíferos en enero de 1998. Desde esa fecha empezó a bajar su porcentaje paulatinamente hasta abril de 1998 y se elevó otra vez en los meses subsiguientes para bajar a menos de un 10% en octubre de 1998 (Figura 12).

Estos cambios fueron acompañados de la presencia de otras especies como *G. bulloides* relacionada con la intrusión de aguas frias y de mayor productividad, cuyo porcentaje se elevó en determinados períodos de 1993 a 1996 (Figura 12), coincidiendo con bajas de G. sacculifer. *G. bulloides* osciló entre 0% y 16% del total de la población en los diferentes meses durante El Niño 1997 – 1998, correspondiendo el mayor valor, 28%, al mes de octubre de 1998, señalando tendencia a la normalización de las condiciones de El Niño. La especie *G. ruber* cedió su primer lugar de abundancia en el área de Salinas a *G. sacculifer* durante el año 1997. *G. aequilateralis* fue escasa pero constante durante El Niño 1997 - 98, presentando, junto con *G. menardii*, el más importante pico de abundancia en junio de 1997 (Figura 12). Miró (1971 a) señaló a *G. sacculifer* como especie indicadora de aguas oceánicas pobres en nutrientes y a *G. bulloides* como especie indicadora de aguas frias ricas en nutrientes.

Los núcleos de mayor abundancia de *G. dutertrei* en mar abierto, picos de abundancia en la estación fija “La Libertad” estarían asociados a zonas de mayor mezcla de masas de agua y a cambios del ecosistema. Igualmente las anormalidades de los capazones de ciertas especies de foraminíferos planctónicos, especialmente de *G. dutertrei* y *G. ruber* serían también consecuencia de drásticos cambios en el ecosistema.

Para una mejor comprensión de las condiciones del ecosistema, es necesario observar el comportamiento de la población de foraminíferos planctónicos, pués los cambios ambientales son advertidos en la sucesión temporal y espacial de las especies. En la figura 12 es importante analizar la composición de foraminíferos en abril de 1996, cuando *G. sacculifer* representó cerca del 20% de la población, a pesar de la dominancia de *G. bulloides*, y, en noviembre de 1996 el aumento del porcentaje de *G. menardii* en presencia de *G. aequilateralis, G. dutertrei, G. sacculifer* en la proporción que se observa en dicho gráfico, observaciones que, unidos a otros parámetros, en corroboración con análisis de muestras tomadas en aguas subsuperficiales, nos llevaría a considerar avisos tempranos de eventos oceánicos y en este caso de El Niño 1997 - 1998.

En aguas ecuatorianas, la decisión de utilizar un

organismo como indicador biológico no es tan sencilla como en paises de altas latitudes, donde quizá la sola presencia de una especie de clima tropical en sus aguas ya es indicio del advenimiento no común de aguas de otras latitudes. En el mar ecuatoriano, por el hecho de ser una zona de mezcla, debemos discernir entre varios parámetros, tales como las variaciones temporales y espaciales de la abundancia y el conocimiento pleno del comportamiento y taxonomía de la especie en relación a las demás especies de su población por lo que es de desear conocer cuáles son las características propias de la especie en áreas de origen para ser capaz de evaluar su presencia en zonas de convergencia o avance de aguas típicas de otras áreas geográficas. Es obvio que tan solo el monitoreo continuo de plancton y parámetros fisico - quimicos en estaciones fijas, permitirían llegar a conclusiones respecto a indicadores biológicos de la calidad del ecosistema. Es necesario, según Miró (1971), analizar la población de foraminíferos planctónicos en su conjunto, en relación con el conjunto de factores ambientales, pués el comportamiento de las especies es el resultado de la interacción de varios factores ambientales, no de un solo parámetro en particular.

## CONCLUSIONES

Las especies dominantes de foraminíferos planctónicos en el mar ecuatoriano reflejan las condiciones ambientales de cada época. El predominio de *Globigerina bulloides* en marzo de 1988 fué indicativo de la normalización de condiciones ambientales en esa época. El predominio de *Globorotalia menardii* en febrero y marzo de 1992 reflejaron el grado de "anomalías" presentes durante El Niño 1992 en la zona de estudio, y la dominancia de *Globigerinoides ruber* en la estación fija "La Libertad" desde 1993 a 1998, la ubica como especie típica del área de la Península de Santa Elena, constituyendo su variación estacional, en concordancia con el comportamiento de otras especies de foraminíferos planctónicos, la herramienta útil en la interpretación de condiciones ambientales del mar.

*Globigerinoides sacculifer* dominante en 1997, y segunda en abundancia después de G. ruber en la estación fija "La Libertad", fue la más importante especie indicadora del Evento El Niño 1997 -1998, en su etapa madura.

*Globigerinoides sacculifer, G. ruber, Globorotalia menardii* evidenciaron el desplazamiento de masas de agua tropicales superficiales, hacia el mar ecuatoriano, predominando en el área norte durante épocas normales y a lo largo de toda la costa durante Eventos "El Niño".

*Globigerina bulloides* indicó el avance de aguas frias de la Corriente de Humboltd, productivas y ricas en nutrientes. Su dominancia ha tipificado áreas oceánicas del Golfo de Guayaquil, área central del mar ecuatoriano en el meridiano 85° W, y área oeste de las Isla Galápagos como potenciales zonas de alta productividad, alta diversidad y surgencias. En la Estación Fija "La Libertad" la presencia de *G. bulloides* indicó el grado de intrusión de aguas de la Corriente de Humboltd en el área marina de la Península de Santa Elena, en las diferentes épocas del año y señaló el debilitamiento de las "anomalías" oceánicas asociadas al Evento El Niño.

El hallazgo de organismos con cámaras adicionales, espinas en caparazones de *G. dutertrei*, aparición de formas inusuales de *Orbulina*, e interrelación de especies encontradas en el presente trabajo, se las relaciona con las características propias de zona de transición del mar ecuatoriano, asociadas con el grado de rigurosidad de "anomalías" inhererentes a cambios climáticos y eventos "El Niño" 1992 y 1997 – 1998.

## AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer a los Directivos del Instituto Nacional de Pesca por el apoyo brindado a la realización de este trabajo, especialmente al Dr. Mario Cobo, ExDirectores del INP, al Dr. Franklin Ormaza, por el incentivo dado a la investigación científica.
Al Convenio de Cooperación Científica INP -

INOCAR, gracias al cual fue posible el monitoreo continuo de zooplancton en la estación fija "La Libertad". Al Biol. Eduardo Zambrano por la lectura del manuscrito y sus valiosas sugerencias. Al Dr. Manuel Cruz, por las importantes sugerencias y apoyo brindado al trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

Be, A. W. H., 1959. - A method for rapid sorting of foraminifera from marine plankton samples. *Journal of Paleontology*, vol.33 nº5, p. 846-848, pl. 118, 2 text-figs: New York.

_____ , 1967.- Foraminífera. Families: Globigerinidae and Globorotalidae. Cons. Perm. Internat. *Expl. Mer, Fiches – Ident. Zooplancton*. Sheet 108. Cotr. 982, pp. 2-9, text-Figs., New York.

Boltovskoy, E., 1963 .- Foraminiferos y sus relaciones con el medio – Mus. Argent. Cienc. Nat., *Rev. Hidribiol.* , Tomo I, nº2, pp. 21-110.

_____ , 1964.- Distribución de los foraminíferos planctónicos vivos en el Atlántico Ecuatorial, parte oeste. *Serv. Hidro. Nav. H.* 639, pp. 1-54, lam. I-IV. Argentina.

_____ , 1965.- Los Foraminíferos recientes. EUDEBA, Argentina.

_____ , 1966.- Zonación en las altitudes altas del Pacífico Sur según los Foraminíferos planctónicos vivos. *Rev. Hidr.* Mus. Argentino Cienc. Nat. Tomo II, nº1. Argentina.

_____, 1968.- Hidrología de las aguas superficiales en la parte Occidental del Atlántico Sur. *Rev. Hidr.* Mus. Argentino – Cienc. Nat. Tomo II, nº6. Argentina.

_____ , 1970.- Masa de Agua (Característica, Distribución, Movimientos) en la Superficie del Atlántico Sudoeste, según indicadores biológicos-Foraminíferos. Serv. Hidr. Nav. H. 643. Argentina.

_____ , 1974a.- Foraminíferos Planctónicos espipelágicos de la Parte Este del Pacífico Tropical, *Rev. Hidr.* Mus. Argentino Cienc. Nat. , Tomo IV, nº3. Argentina.

_____ , 1974b.- *Globorotalia hirsuta eastropacia* N. Subsp.- Planktonic subspecies (Foraminiférida) from the tropical Pacific Ocean. *Rev. Española Micropaleont.* , vol. VI, nº1, pp. 127-133.

_____ , 1976a.- Ejemplares patológicos en los Foraminíferos Planctónicos. *Rev. Hidr.* Mus. Argentino Cienc. Nat. Argentina Tomo V, nº2

_____ , 1976b.- Distribution of Recent Foraminifera of the South American Región Foraminífera. Vol. 2. Academic Press London.

Boltovskoy, D. 1981.- Atlas del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo del zooplancton marino. Pub. INIDEP. Mar del Plata- Argentina. 936 p

Boltovskoy, E. Y S. Watanabe, 1975.- Foraminíferos planctónicos en Sedimentos del Pacífico entre la Isla de Pascua y los 52° S. Tomo I, n° 8. Argentina.

Bradshaw, John, 1959.- Ecology of Living Planktonic Foraminifera in the North and Ecuatorial Pacific Ocean. *Contr. Cushman.* Found. Foram. Res., vol. X, part. 2. California.

Enfield, D. B., 1975. - Oceanografía de la región norte del Frente Ecuatorial: Aspectos Físicos. Publicación INOCAR-IOA-201-75,55 pp. Guayaquil-Ecuador.

Enfield D. E., 1976.- Oceanography of the region north of the equatorial front, physical aspects. FAO Fish. Rep. 185, 299-344.

ERFEN 1998.- Informe inter-regional de paises ribereños del Pacífico Sur respecto a “El Niño” 1997 – 1998 – Aspectos Biológicos – CPPS- Taller - Hotel Ramada Guayaquil-Ecuador

Gajardo Nathalia, González H., Marchant M. 2013. Caracterización de El Niño, La Niña y condiciones normales a través de foraminiferos planctónicos (2006-2007) en el Pacífico suroriental. *Ciencias Marinas*, 39(3): 253-264

Jimenez, R., 1978 .- Mise en Evidence de L'upwelling Equatorial a L'east des Galapagos. Cash. O.R.S.T.O.M., Ser. Oceanogra. Vol. XVI, N°2, 137-155.

Luzuriaga de Cruz, M., 1976 .- Foraminíferos planctónicos vivos en aguas superficiales ecuatorianas durante El Niño de 1972. Publicación INOCAR- CM-IOA-CM-BIO-09. 30 pp., Guayaquil – Ecuador.

_____, 1977 .- Biomasa del zooplancton y anotaciones ecológicas en base a indicadores biológicos, foraminíferos planctónicos al oeste de las Islas Galápagos. Bol. ERFEN. 1(2). Chile.

_____, 1980 .- Ecología y distribución de los foraminíferos planctónicos vivos en el mar ecuatoriano. Tesis Doctoral. Universidad de Guayaquil – Ecuador.

_____, 1992.- Notas hidrológicas en aguas superficiales ecuatorianas según indicadores biológicos: foraminíferos planctónicos. *Acta Oceanográfica del Pacífico* INOCAR. Ecuador 7(1) 29-39 pp.

_____, 1993.- Foraminíferos planctónicos vivos: Distribución y abundancia y su importancia como indicadores biológicos. Res. Curso Taller Ind. Biol. CPPS. Cali Colombia.

Luzuriaga de cruz, M., D. Ortega Y E. Elías 1998 .- Aspectos Bioecológicos del ictioplancton en la Estación Fija "La Libertad" durante 1997. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR, Ecuador, 9(1), 1998 p 145 - 151.

Luzuriaga de Cruz Maria 2009.- Distribución espacio- temporal del ictioplancton y zooplancton marino en las Islas Galápagos, Ecuador (1988 -2001). *Acta Oceanográfica del Pacífico*. Vol.15, N° 1

Miro, M. D., de, 1971a.- Los foraminíferos plactónicos vivos y sedimentados del margen continental de Venezuela. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona (manuscrito) 322 pp., lám. I – V.

_____ , 1971b.- Los foraminíferos planctónicos vivos y sedimentados del margen continental de Venezuela (resumen). *Acta Geológica Hispánica*, t. VI. nº4, pags. 102-108.

_____ , 1973.- Foraminíferos planctónicos vivos de las aguas superficiales de la región de afloramiento del noroeste africano. Res. Exp. Cient. B/O Cornide,. Vol, 2, pags. 95 – 108.

Miro, M. D. de y M. Luzuriaga, 1974 .- Foraminíferos planctónicos vivos en aguas superficiales ecuatorianas. Publicación INOCAR-CM-BIO- 3-74. 14 pp., Guayaquil – Ecuador.

PARKER, F. L. 1960.- Living Planktonic Foraminifera from the Equatorial and Southeast Pacific. Science Reports of Tohoku University, Japan, 2nd Ser. (Geol.) Vol., nº 4, pp –71 - 82, 20 text-Figs.

_____, 1962.- Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology*, vol. 8, nº 2, pp. 219-254, pls. 1-10.

_____ , 1971.- Distribution of Planktonic foraminifera in Recent Deep-Sea sediments. *Micropaleontology of Oceans.* Cambridge University Press, pp. 289 – 307.

Strub, P.,Mesias J., Montecino V., Rutland J., Salinas S., 1997 .- Coastal Ocean Circulation off Western South America. Deep Sea Research. Vol.13

Todd, R, 1965. - The foraminifera of the

Tropical Pacific collections of the “Albatros”, 1899-1900. Foraminifera of the Tropical Pacific Collections of the “Albatros”, pp. 58-120 y Láms.

Wyrtky, K., 1966.- Oceanography of the eastern ecuatorial Pacific Ocean Oceanog. *Mar. Biol.* Ann. Rev. (4):33-68

Zambrano E. 1998.- Un análisis de la Estructura Termal de la Estación Costera "La Libertad" y su relación con los Eventos ENOS. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR, Ecuador, 9(1), 1998 p 129 –144

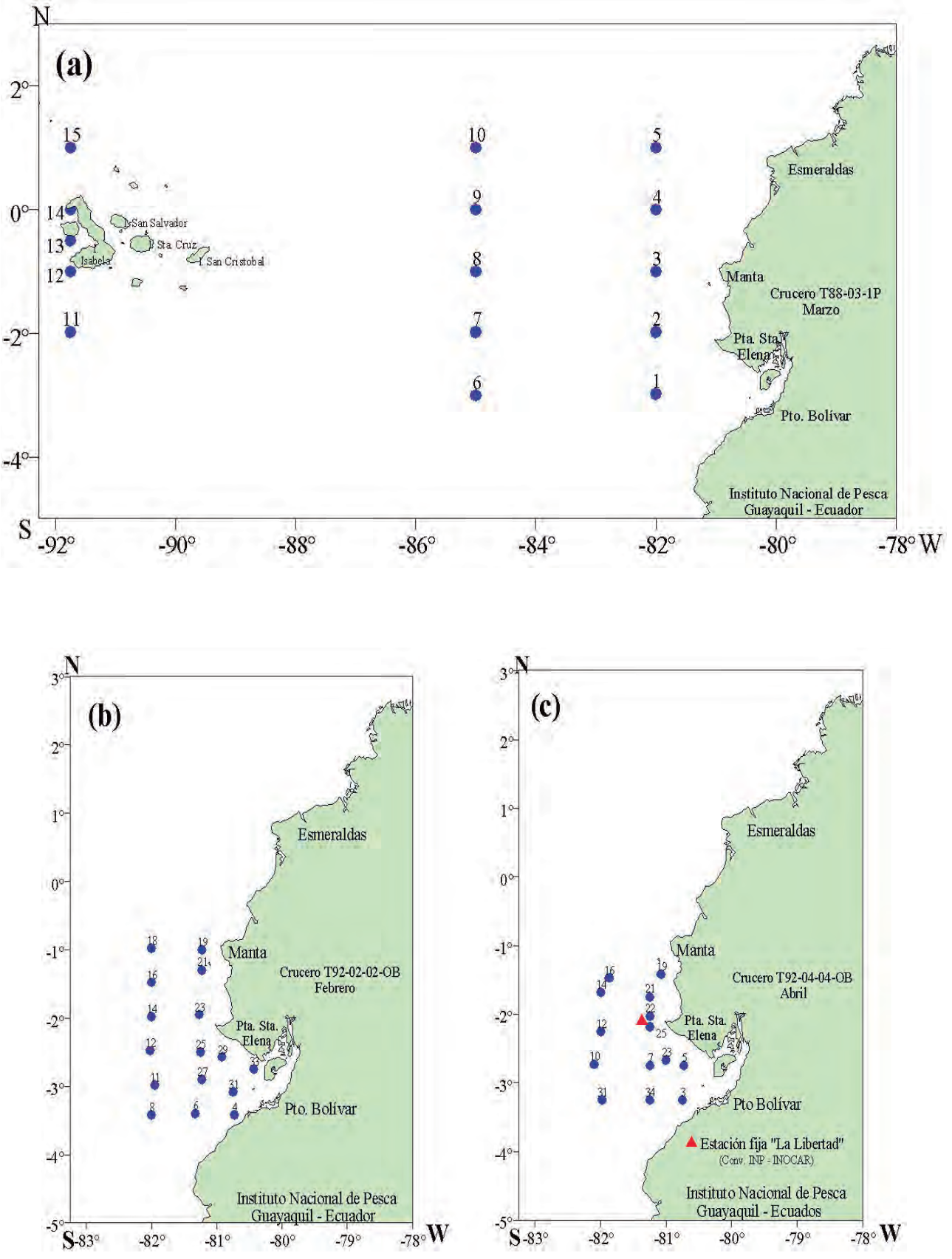



**Figura 1.-** Localización de las estaciones biológicas durante crucero oceanográfico B/I TOHALLI en. (a) marzo 1988, (b) febrero 1992, (c) abril 1992. (▲) Estación fija "La Libertad" 1993 - 1998.

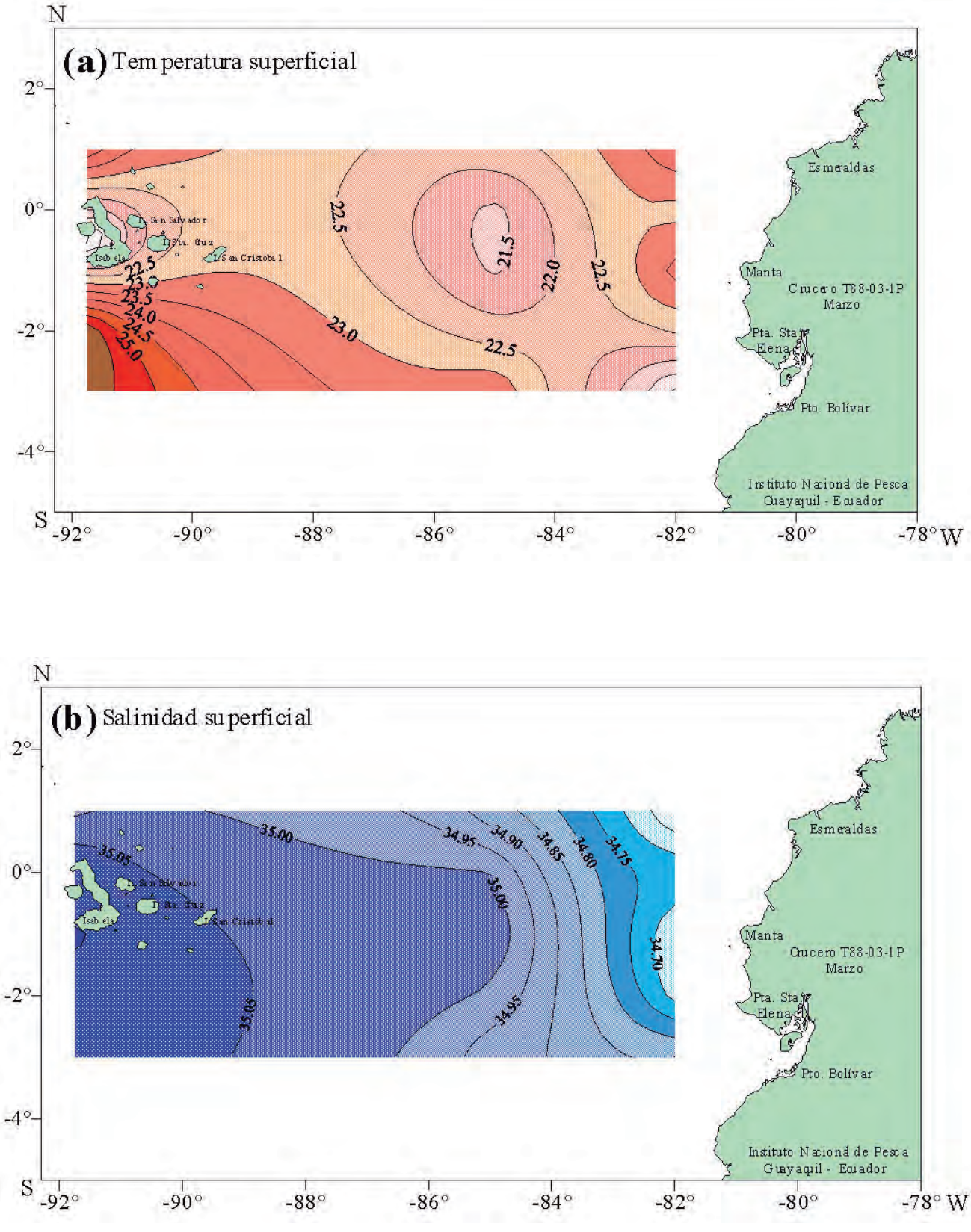
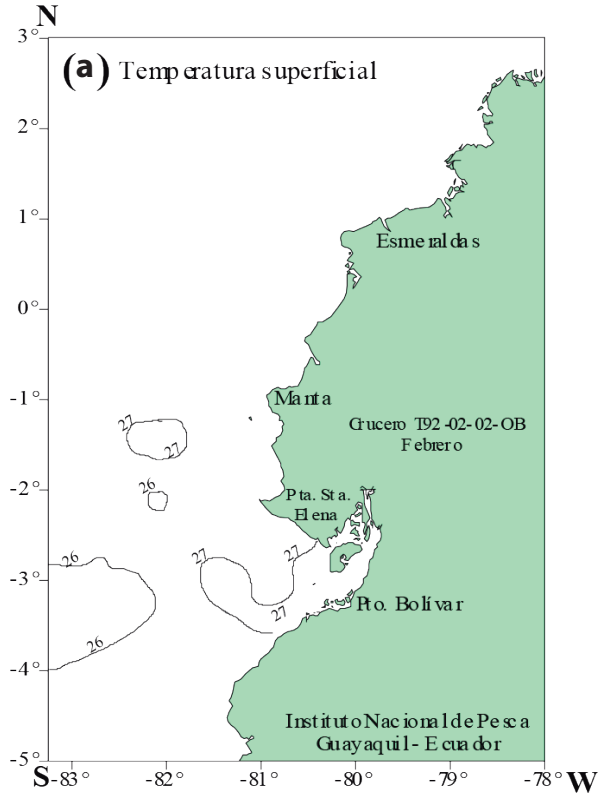



**Figura 2.-** (a) Temperatura y (b) salinidad superficial durante marzo de 1988



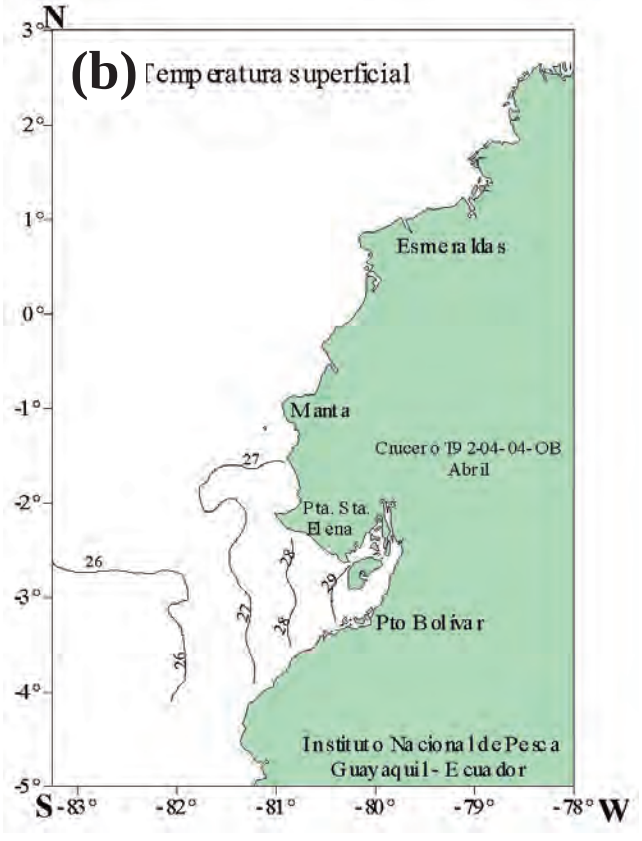
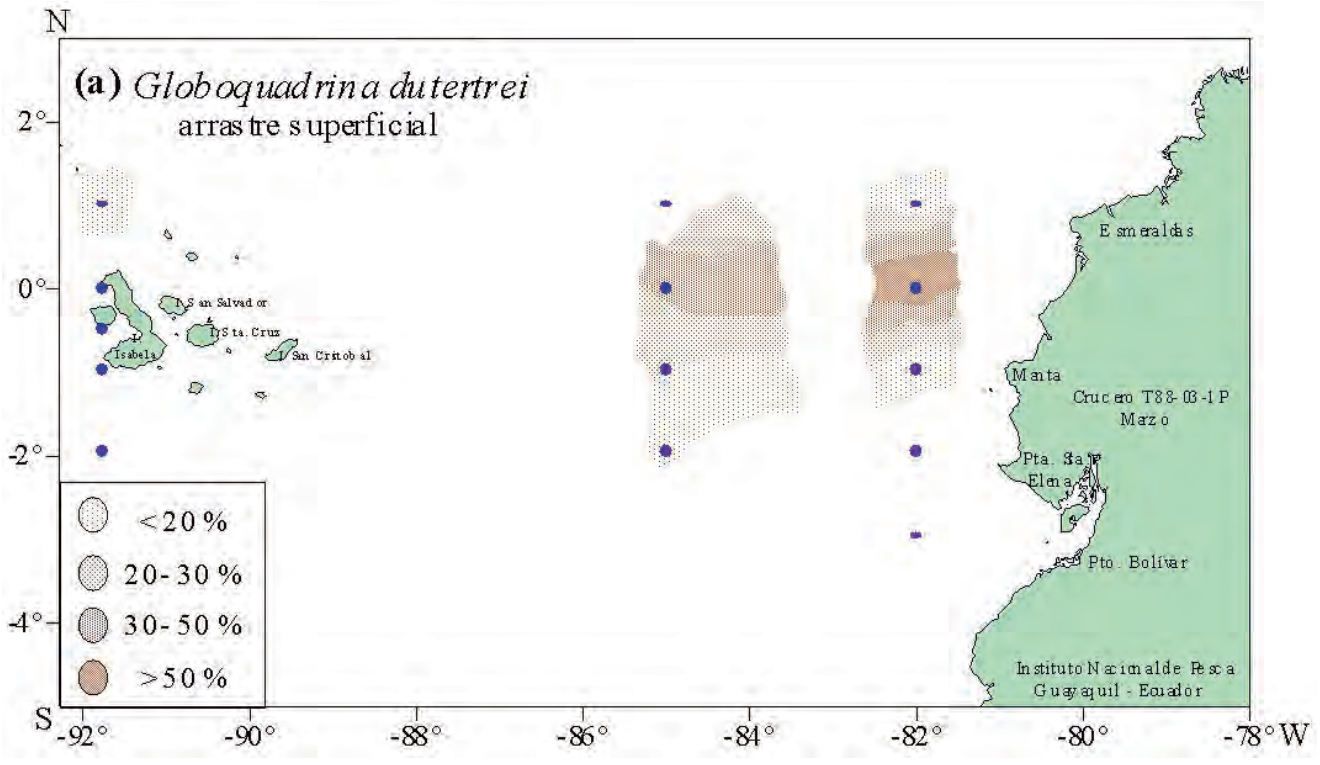




**Figura 3.** Temperatura superficial durante (a) febrero y (b) abril de 1992.



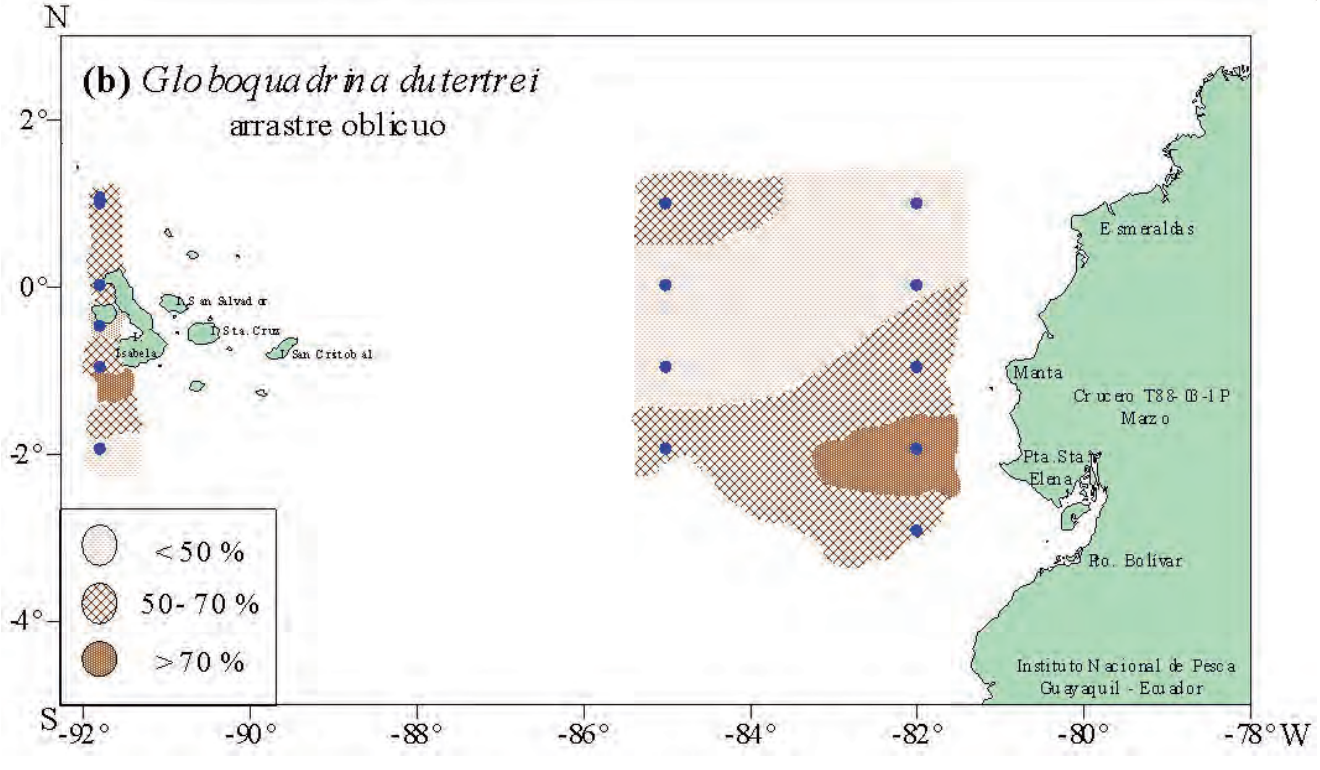




**Figura 4.-** Distribución de *Globoquadrina dutertrei* en arrastre: (a) superficial y (b) oblicuo durante C.O. marzo 1988.

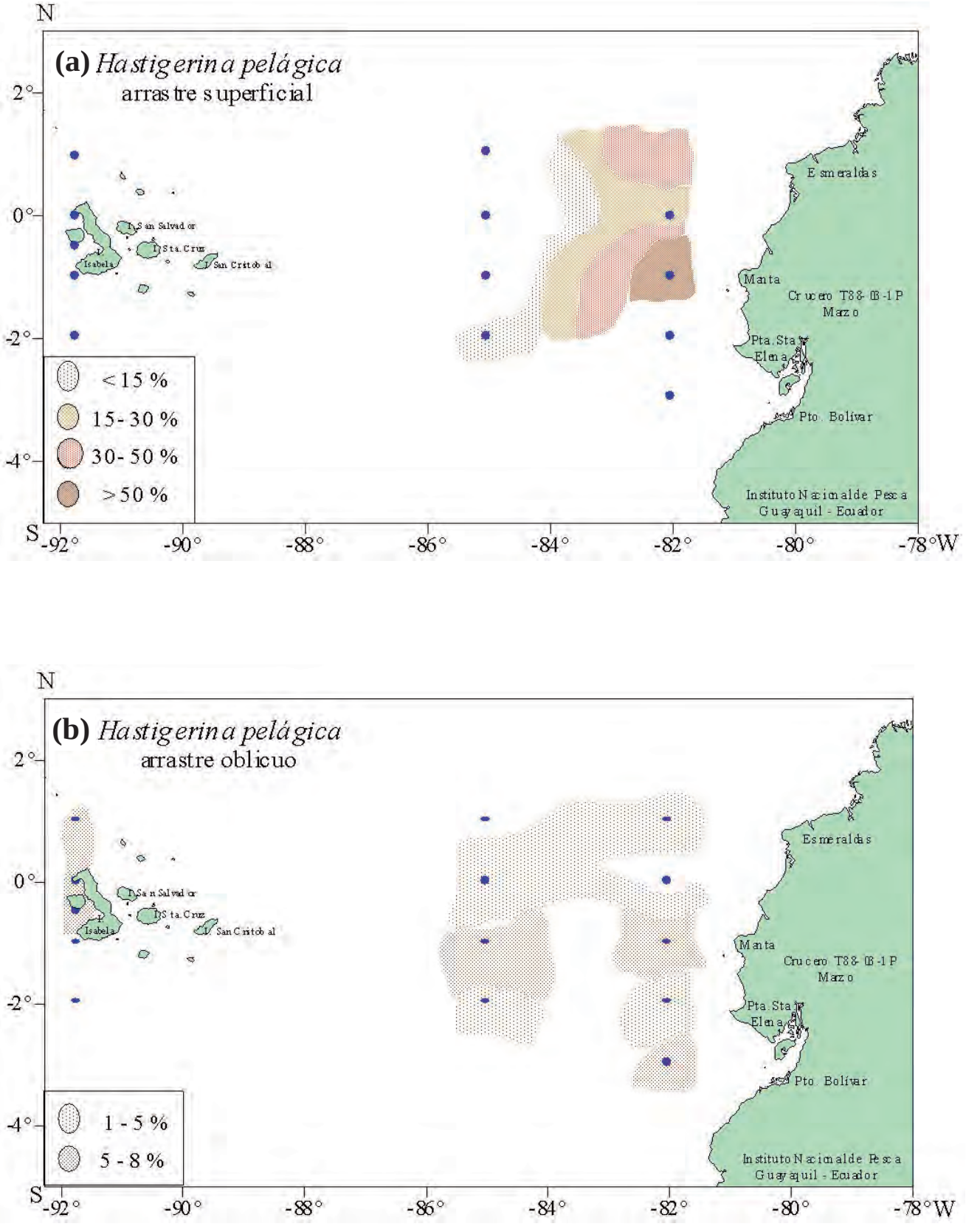
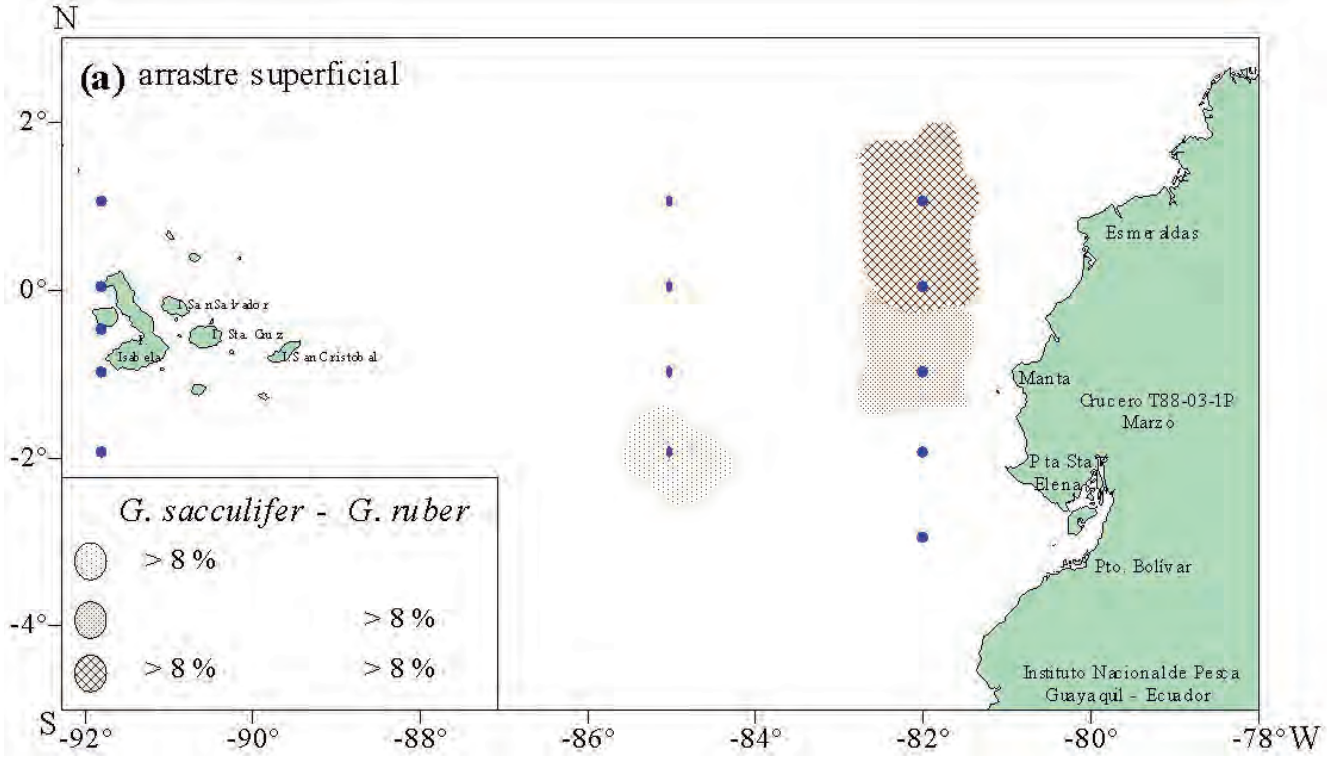



**Figura 5.-** Distribución de *Hastigerina pelagica* en. (a) arrastre superficial y (b) oblicuo durante C.O. marzo 1988.



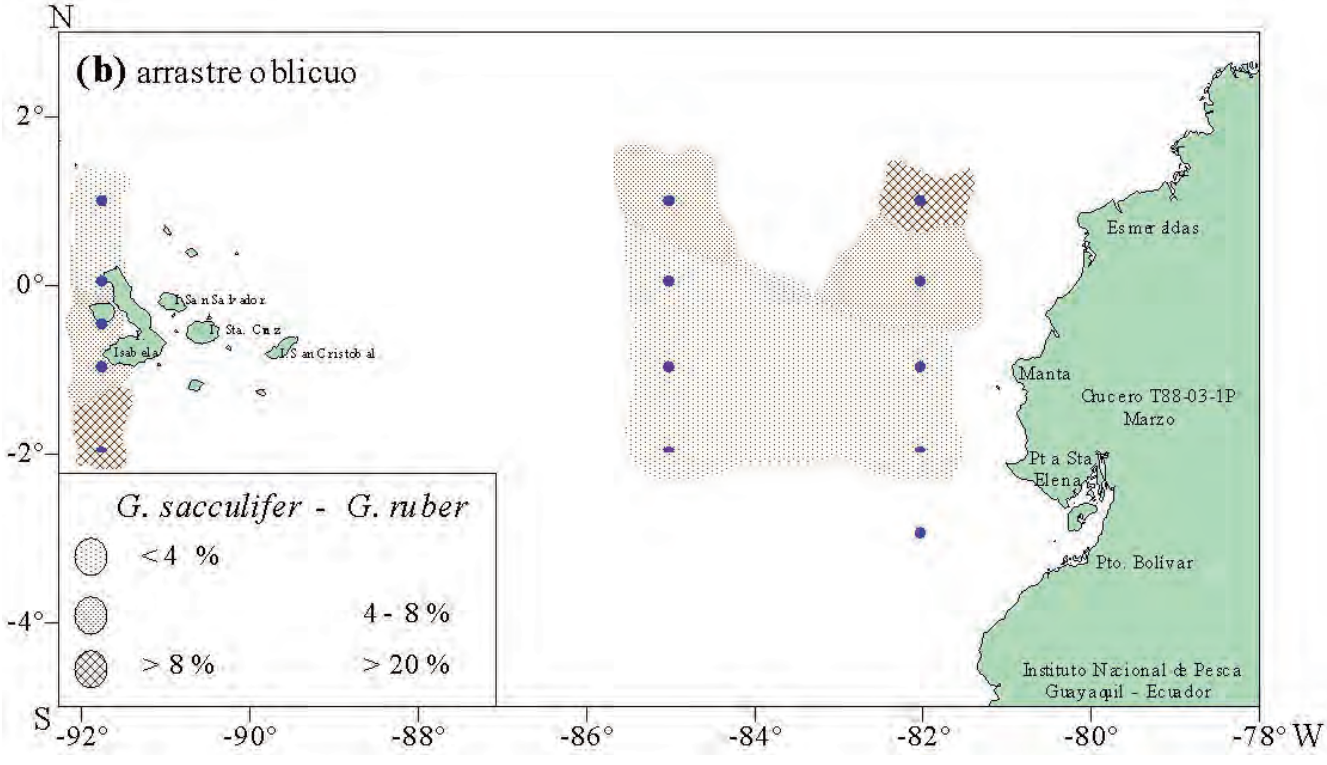




**Figura 6.-** Distribución de *Globigerinoides sacculier* y *G. ruber* en arrastre: (a) superficial y (b) oblicuo de C.O. marzo 1988.

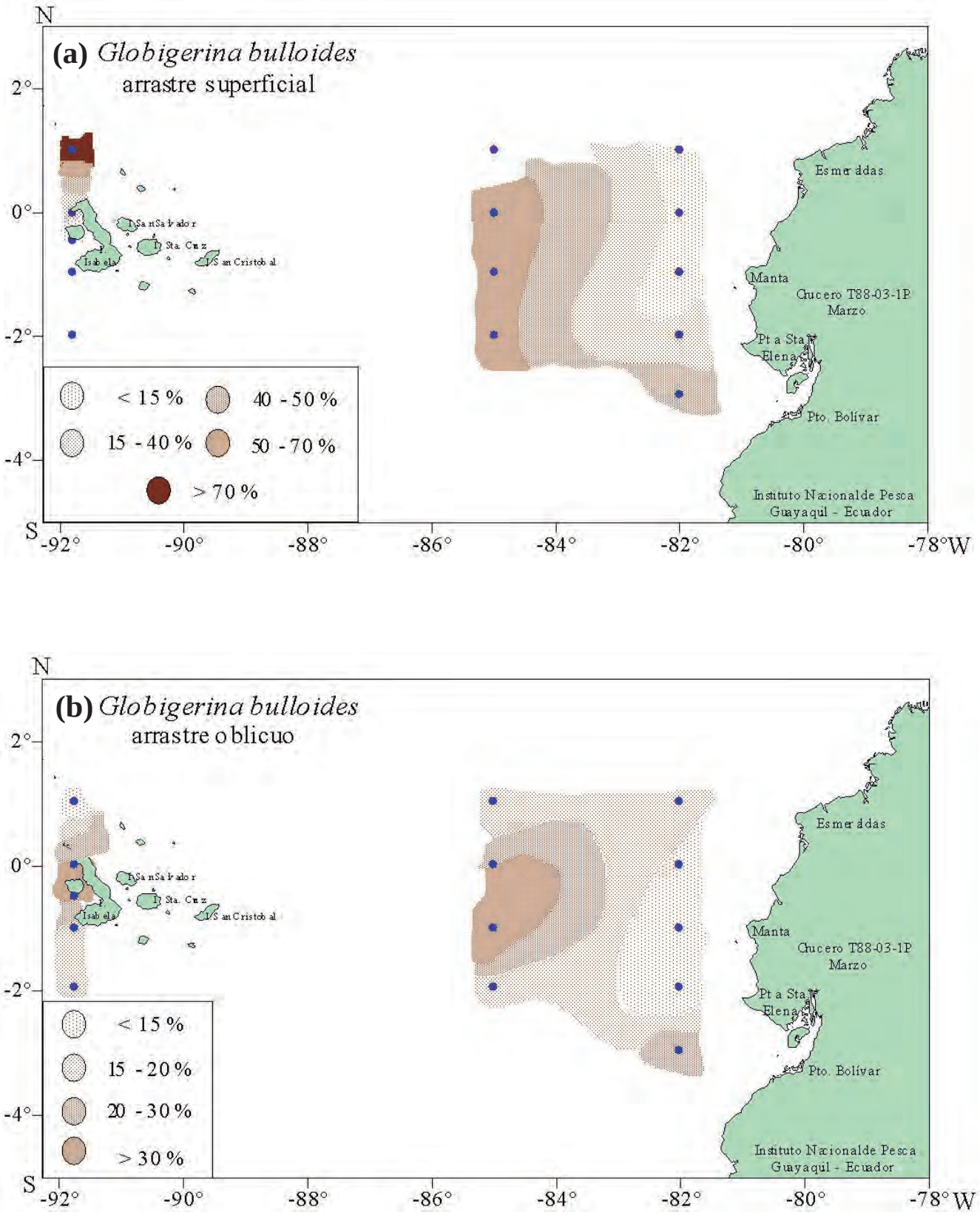



**Figura 7.-** Distribución de *Globigerina bulloides* en arrastre: (a) superficial y (b) oblicuo de C.O. marzo 1988.

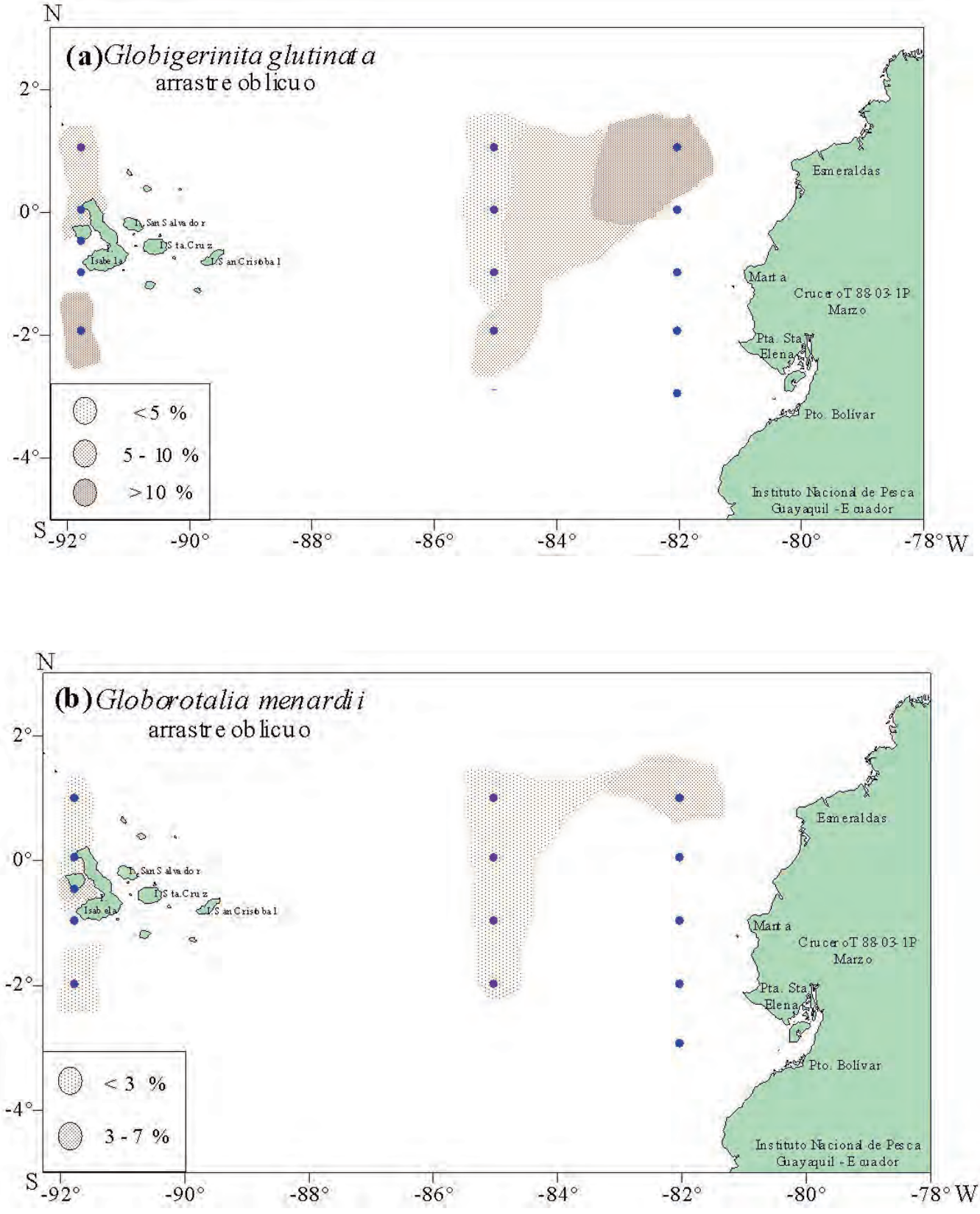
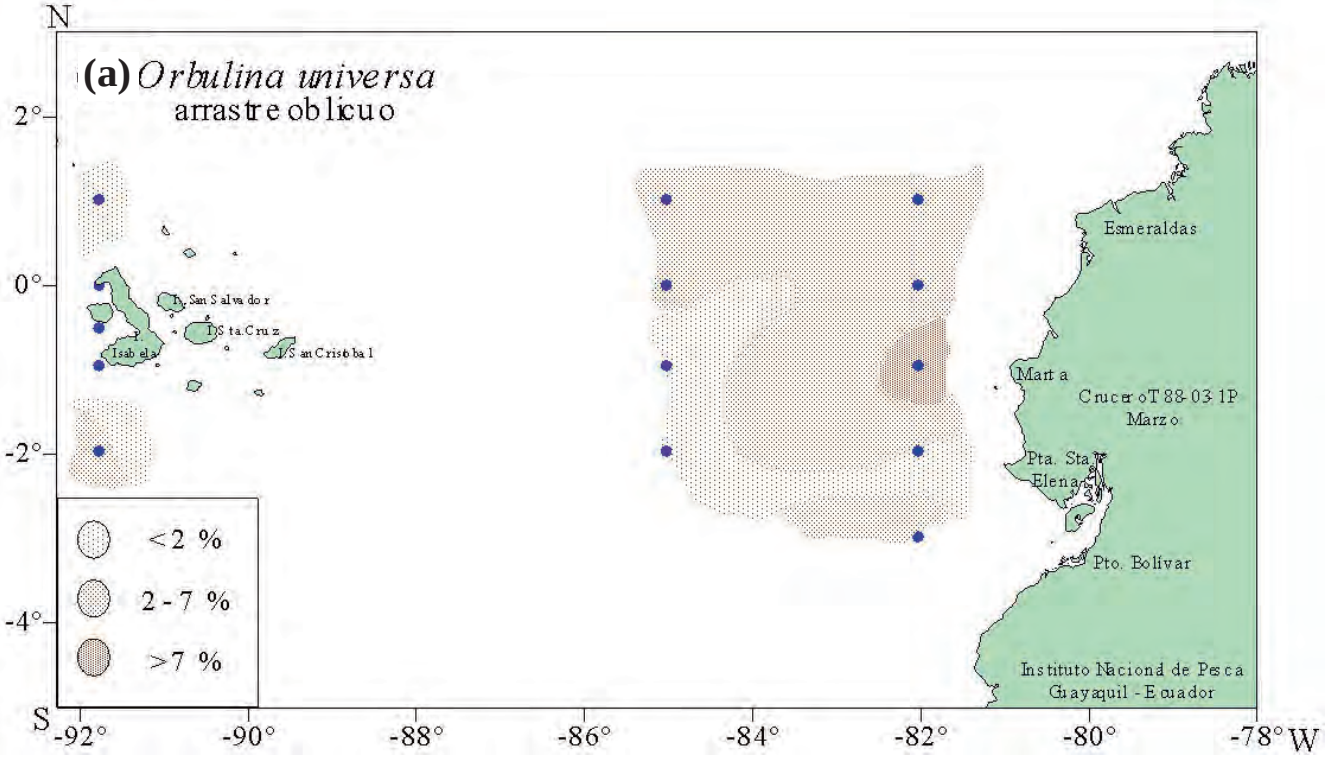



**Figura 8.-** Distribución de: (a) *Globigerinita glutinata* y (b) *Globorotalia menardii*, en arrastre oblicuo durante C.O. marzo 1988.



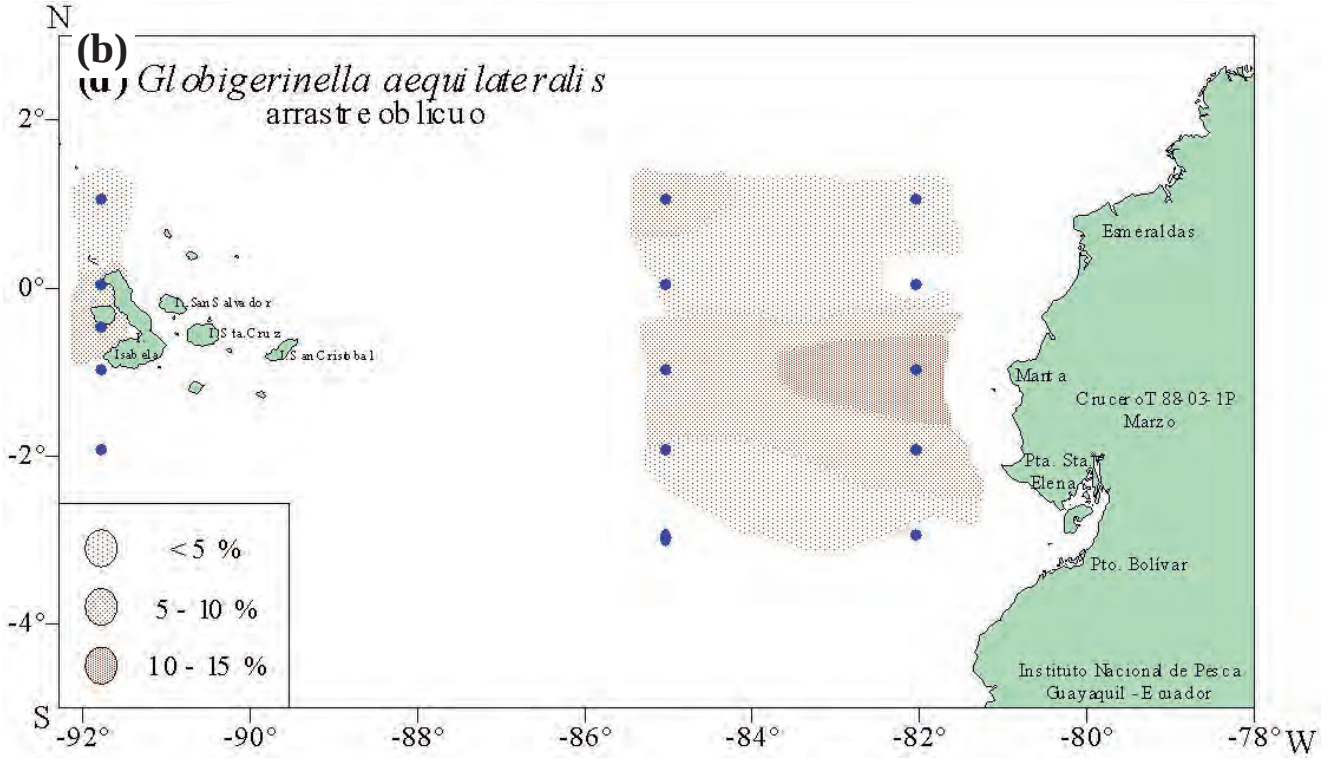




**Figura 9.**- Distribución de: (a) *Orbulina universa* y (b) *Globigerinella aequilateralis* en arrastre oblicuo durante C.O. marzo 1988.

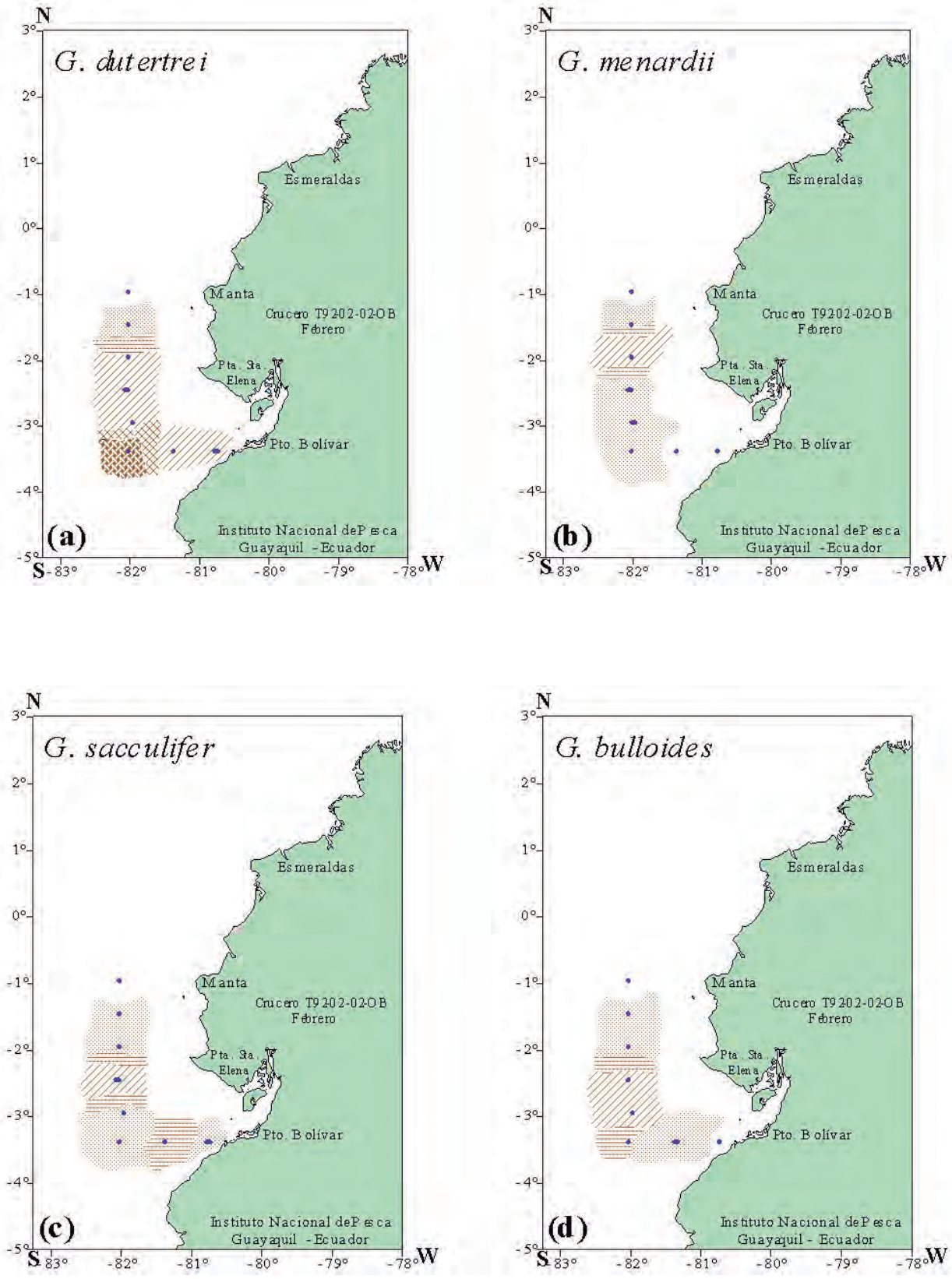



**Figura 10.-** Distribución de: (a) *G. dutertrei*, (b) *G. menardii*, (c) *G. sacculifer* y (d) *G. bulloides* en arrastre superficial durante febrero 1992.

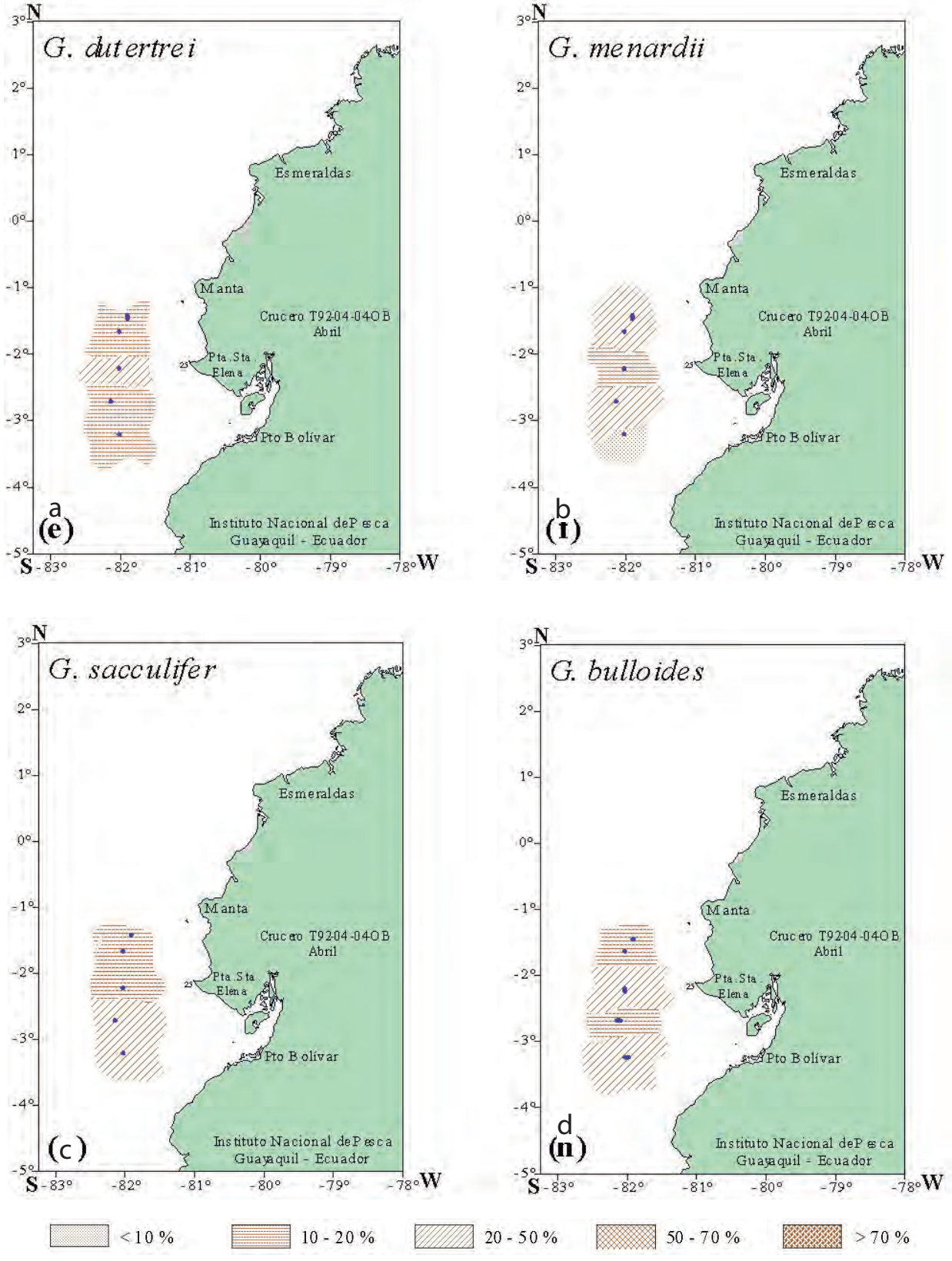



**Figura 11.-** Distribución de: (a) *G. dutertrei*, (b) *G. menardii*, (c) *G. sacculifer* y (d) *G. bulloides*, en arrastre superficial durante abril 1992.

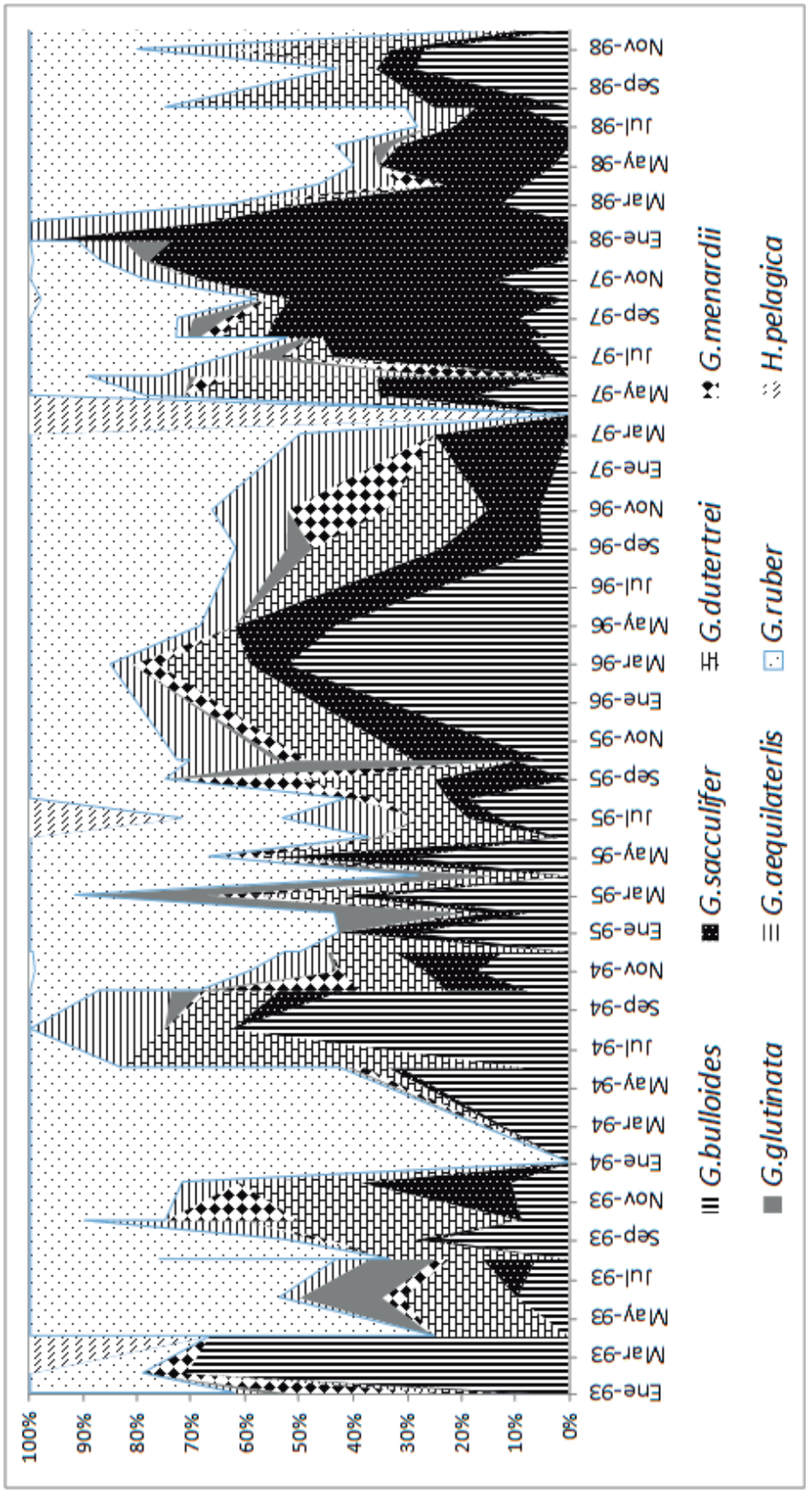



**Figura 12.-** Foraminíferos planctónicos vivos en la estación fija "La Libertad" en aguas superficiales - período 1693-1998.

# DISTRIBUCIÓN DEL ICTIOPLANCTON Y SU INTERRELACIÓN CON PARÁMETROS BIÓTICOS Y ABIÓTICOS EN AGUAS COSTERAS ECUATORIANAS

Luzuriaga-Villarreal María [(1)]


## *RESUMEN*

Las condiciones bióticas y abióticas del ecosistema marino condicionan las áreas de desove de peces y por tanto, el desarrollo y comportamiento de las larvas de peces en la costa ecuatoriana. Durante el crucero de pesca demersal T 05/11/01 D de noviembre 2005 se colectaron 44 muestras de zooplancton con red cónica simple de 300 µm de malla. La distribución del ictioplancton indicó una alta densidad de larvas, 8800 larvas/10m2 frente a Muisne y 24 000 y 15 000 huevos/10m2, frente a Cabuyal y Golfo de Guayaquil, respectivamente. El área comprendida entre Cabo San Lorenzo a Cabuyal fue la de mayor diversidad de larvas de peces (4.26 bits) relacionada a concentraciones de diatomeas y dinoflagelados, en un área caracterizada por la mezcla de aguas continentales provenientes del río Chone y oceánicas cálidas de la Bahía de Panamá. El Golfo de Guayaquil fue el segundo en diversidad de ictioplancton asociado al incremento del zooplancton, en especial copépodos y cladóceros (3.7 bits). La temperatura, salinidad y nutrientes, a más de diatomeas, fueron los parámetros de mayor influencia en la distribución de larvas en la costa del Ecuador (r = 0.6 a 0.88). Se observaron interrelaciones fosfatos-diatomeas- zooplancton- larvas y peces adultos de la especie *Chloroscombrus orqueta*


**Palabras Claves:** abundancia, diversidad, fitoplancton, zooplancton, correlación, larvas de peces.


## *ABSTRACT*

The biotic and abiotic conditions of the marine ecosystem affect the spawning grounds of fish and therefore the development and behavior of fish larvae in the Ecuadorian coast. During the cruise demersal fishing T 05/11 / 01D of November 2005, 44 zooplankton samples were collected with a simple conical network of 300 micron mesh. Ichthyoplankton distribution indicated a high density of larvae, 8800 larvae / 10m2, in front of Muisne and 24 000 and 15 000 eggs / 10m2, in front of Cabuyal and Gulf of Guayaquil, respectively. The area between Cabo San Lorenzo until Cabuyal was the greatest diversity of fish larvae (4.26 bits) related with concentrations of diatoms and dinoflagellates, in an area characterized by mixing fresh water from the Chone River and oceanic warm waters of the Panama bay. The Gulf of Guayaquil was second in ichthyoplanktonic diversity associated with increased zooplankton, especially copepods and cladocerans (3.7 bits). Temperature, salinity, nutrients, and diatoms were the parameters of highest incidence in the distribution of larvae on the coast of Ecuador (r = 0.6 to 0.88). Interrelationships among phosphates, diatoms, zooplankton, fish larvae and adults fishes of *Chloroscombrus orqueta*, were observed.


**Keywords:** abundance, diversity, phytoplankton, zooplankton, correlation, fish larvae.

Instituto Nacional de Pesca Letamendi 102 y la Ría
mluzuriaga@institutopesca.gob.ec

## INTRODUCCIÓN

Los recursos pesqueros de interés comercial son objeto de gran actividad extractiva en el área nerítica de la costa ecuatoriana y en el Golfo de Guayaquil; así, la distribución y abundancia de estos recursos en sus primeros estados de vida, huevos y larvas de peces, constituyen uno de los estudios prioritarios que dan lugar a la identificación de las áreas y épocas de desove.

La investigación en producción biológica considera la interrelación entre los diferentes niveles tróficos, primario, secundario y terciario, debido principalmente a los procesos de inanición y predación larval que suceden en el medio (Trocoli et al., 2016).

El Instituto Nacional de Pesca del Ecuador ha realizado investigaciones que enfocan la relación de áreas de abundancia del ictioplancton y del zooplancton durante campañas de investigación realizadas en la costa ecuatoriana, incluyendo el Golfo de Guayaquil (Luzuriaga y Elías 1999, 1999 a, Luzuriaga et al 1998, 2007, 2011), alrededor de las Islas Galápagos (García et al 1993, Luzuriaga 2009), y en estaciones fijas costeras (Cruz 2010, Luzuriaga et al 2003-2004). En estas últimas se han utilizado determinadas especies planctónicas (pterópodos, foraminíferos planctónicos, huevos y larvas de peces engráulidos y clupeidos) como indicadoras de cambios del ecosistema marino, en diferentes episodios climáticos ocurridos en el mar ecuatoriano.

El presente trabajo enfoca la relación existente entre las condiciones abióticas y bióticas del mar y las áreas de abundancia del ictioplancton presente en aguas costeras ecuatorianas durante noviembre 2005.

## ÁREA DE ESTUDIO

Comprendió la plataforma continental desde el Golfo de Guayaquil hasta costas de Esmeraldas, desde 0°33 N y 80°10 W hasta los 3°19’S y 80°16’W.

Durante el mes de noviembre 2005, se observó la influencia de aguas de la Corriente de Humboldt en el Golfo de Guayaquil y parte sur de la costa ecuatoriana; mientras que en la parte central y norte del Ecuador, la temperatura superficial del mar presentó valores ligeramente sobre lo normal, debido al desplazamiento de aguas provenientes de la Bahía de Panamá. (CPPS, 2005).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de ictioplancton fueron colectadas durante el Crucero de Pesca T 05/11/01 D realizado del 5 al 20 de noviembre 2005; a bordo del B/I Tohallí, en 21 estaciones biológicas (Figura 1).

Se utilizaron redes de 300 micras en arrastres verticales a una profundidad máxima de 50 m; y en arrastres horizontales a 0 m durante 5 minutos a una velocidad de dos nudos. Las muestras fueron fijadas inmediatamente con formol al 4% previamente neutralizado con tetraborato de sodio. La colecta fue realizada entre las 07h: 00 y 17h: 30, a excepción de las estaciones 5, 6, 7, 8 y 11 que se realizaron en la noche entre las 18h: 40 y 20h: 30 (Tablas1 y 2).

En el laboratorio se procedió a la separación e identificación de huevos y larvas de peces utilizando para ello claves de identificación entre las que se menciona a Alhstrom, E.H .& H. G.Moser (1980), Beltrán (1992), Beltràn y Rìos (2000), Matarese et al (1989), Moser y Richards (1983), Smith y Richardson (1979).

Para interpretación de resultados se consideraron cuatro Subáreas cuya delimitaciòn consta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Estaciones consideradas dentro de cada subárea

| Subárea | Estaciones |
|---|---|
| **A** (Golfo de Guayaquil - Puntilla Sta Elena) | 1, 2, 3, 4, **5*, 6*, 7*** |
| **B** (Puntilla de Sta. Elena - Cabo San Lorenzo) | **8***, 9, 10, **11***, 12 |
| **C** (Cabo San Lorenzo - Cabuyal) | 13, 14, 15, 16, 17 |
| **D** (Cabuyal - Punta Galera) | 18, 19, 20, 21 |

***= colectas planctónicas durante la noche**

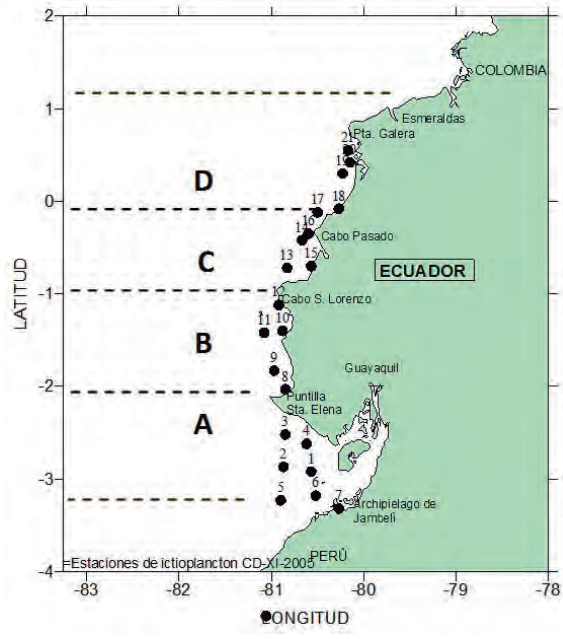



**Figura 1.** Localización de estaciones biológicas en Subáreas A-C Crucero T 05/11/01 D

El análisis estadístico se realizó en base al cálculo del Índice de Correlación (r) de Pearson seleccionando los valores confiables con probabilidad de error de un máximo del 5% (P), para lo cual se utilizó una tabla resumida de Fisher y Yates con valores del coeficiente de correlación r, para ciertos niveles de significación. Las diferencias de abundancia por subáreas se expresaron en diagramas de caja y bigote, aplicando el test de Kruskall Wallis (KW), y para graficar la relación entre especies frecuentes y variables bióticas y abióticas, se hizo un análisis de correspondencia canónica (ACC). La diversidad de especies se determinó mediante el índice de Shannon y Weaver (1949), el mismo que considera la distribución de las especies en la muestra, en tanto que para medir el grado de homogeneidad se utilizò el coeficiente de Pielou (1969) e=Habs/Hmáx.

**Tabla 2.** Hora de muestreo de ictioplancton durante crucero T 05/11/01 D.

| Estación | Hora de muestreo | Estación | Hora de muestreo |
|---|---|---|---|
| 1 | 14:00h | 12 | 12:24 |
| 2 | 16:20 | 13 | 07:48 |
| 3 | 11:39 | 14 | 16:54 |
| 4 | 17:14 | 15 | 07:10 |
| 5 | 20:30 | 16 | 08:50 |
| 6 | 18:40 | 17 | 17:18 |
| 7 | 20:32 | 18 | 10:40 |
| 8 | 19:20 | 19 | 12:41 |
| 9 | 07:43 | 20 | 17:50 |
| 10 | 17:15 | 21 | 03:20 |
| 11 | 20:20 | | |

## RESULTADOS

### Datos físicos

La temperatura superficial del mar durante el mes de noviembre 2005, varió de 23°C a 26.9°C en puntos localizados al norte de Cabo Pasado (Est. 17) y frente a Muisne (Est. 21), respectivamente (Figura 2a). A 10 metros de profundidad (Figura 2b), las temperaturas más bajas se encontraron en el Golfo (Est. 1) y las más altas en la región norte (Est. 21), frente a la provincia de Esmeraldas; mientras que a 30 m de profundidad (Figura 4g), la temperatura bajó a 18.9 grados en los alrededores de Isla Salango (Est. 10, subárea B)

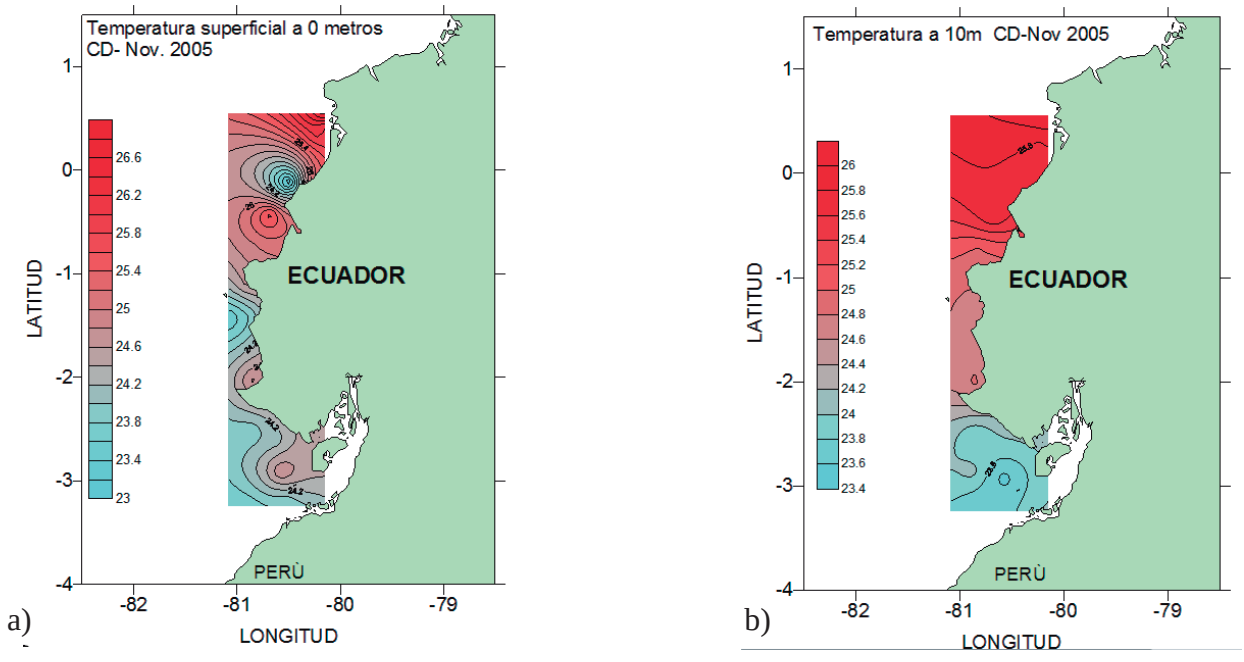



**Figura 2.** a) Temperatura superficial y b) temperatura a 10 metros durante crucero T05-11-01D

Los gradientes de salinidad descendieron de 33.3 ‰, en el sur del Golfo de Guayaquil (Est.5 y 7) a 32.2 ‰ en el norte del Golfo (Est. 8). Estas características se dieron en superficie hasta los 30 m de profundidad. A los 50 m la salinidad ascendió a más de 35 ‰ en el extremo oceánico sur del Golfo (Figura 3 a, b).

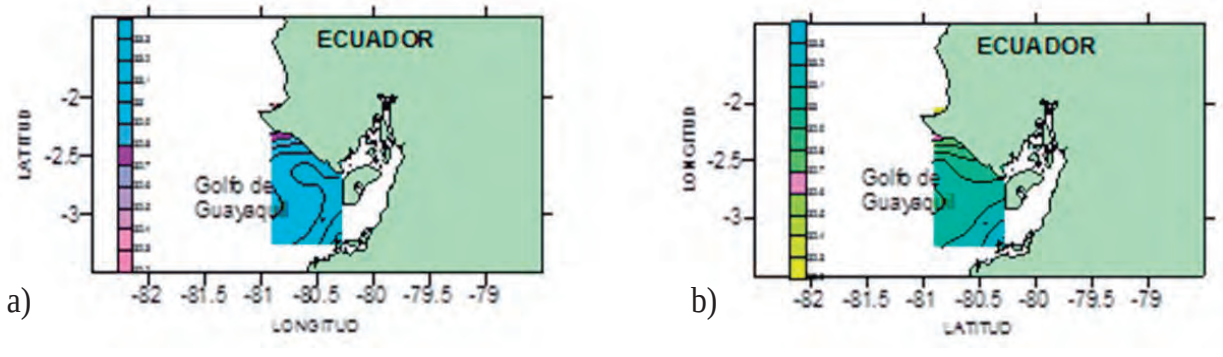



**Figura 3** a) Salinidad superficial; b) salinidad a 20 metros durante Crucero T05/11/01 D

La distribución de nutrientes: fosfatos, silicatos y nitratos presentaron diferencias significativas a nivel superficial (KW<0.5), con mayores valores (Figura 4a-c)) en la subáreaD y menores en la subárea B, a excepción de los silicatos, cuyo valor mas bajo se halló en la subárea A.Mientras que, a 30 metros de profundidad del mar, en las cuatro subáreas, no hubieron diferencias significativas (KW>0.5) en la concentración de nutrientes (Figura 4 d-f), pero si,la constante de un mayor rango de distribución en la subárea B (Figura 4g).

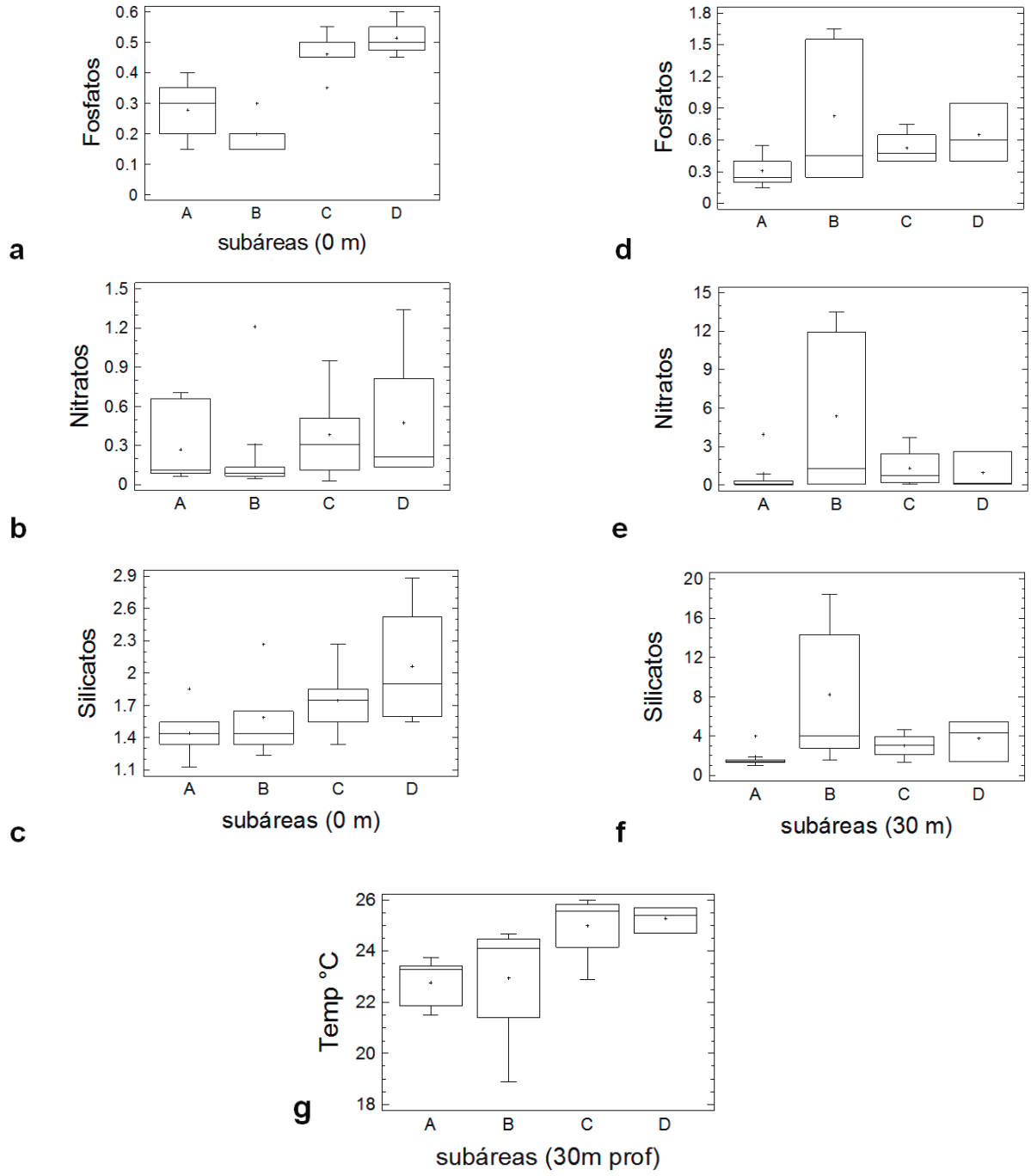



**Figura 4.** Variaciones de la cantidad de nutrientes: a) nitratos, b) fosfatos, c) silicatos a nivel superficial, y de: d) nitratos, e)fosfatos, f) silicatos, yg)temperatura, a 30 m de profundidad, en cada subárea considerada en la costa ecuatoriana, durante crucero T05-11-01D..

## CONDICIONES BIÓTICAS

Se presentaron altas densidades de diatomeas y dinoflagelados en la costa norte, desde la desembocadura del río Chone hasta Cojimíes (Figura 5a), mientras que las máximas densidades de zooplancton se dieron hacia el sur (Figura 5b), desde Isla Salango hasta el Golfo de Guayaquil en aguas superficiales y desde Cabo San Lorenzo hasta Ayangue en la columna de agua.

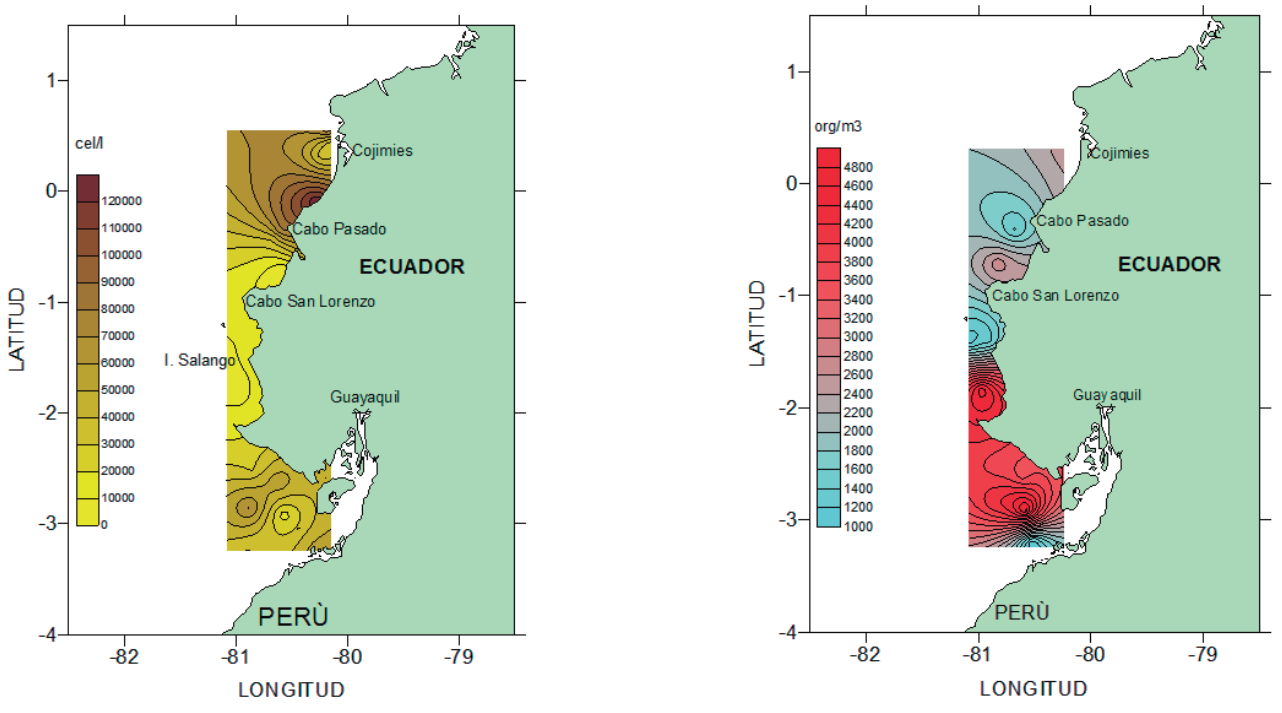



**Figura 5.** Distribución de: a) diatomeas y b) zooplancton en aguas superficiales durante noviembre 2005
(Fuente de datos: Área Plancton INP. Elaboración: Maria Luzuriaga)

Entre las especies del fitoplancton, *Nitzschia longissima* (Identificación Sección Plancton, INP) fue la especie mas frecuente en la costa ecuatoriana durante noviembre 2005 y su distribución en aguas superficiales de cada subárea (Figura 6 a) presentó diferencias significativas (KW<0.5), corrrespondiendo la mayor abundancia a las subareas C y D. El zooplancton, en cambio, concentró sus mayores densidades en la columna de agua (y a 0 metros) en las subáreas A y B (Figura 6b).

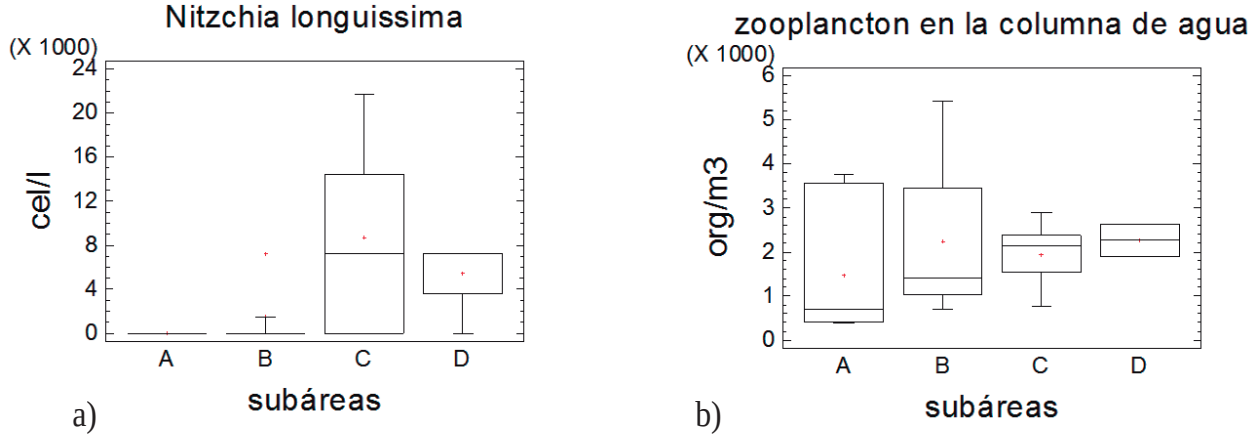



**Figura 6.** Distribución de abundancia de: a) diatomea *Nitzchia longissima* y b) número de zooplancteres (org/m3) en cada subárea de aguas costeras durante crucero T05-11-01D.
Fuente: Laboratorio de Plancton, INP. Elaborado por: Maria Luzuriaga

## ICTIOPLANCTON

El total de larvas de peces obtenidas fue alrededor de 111 200 larvas/10m$^2$ de las cuales el 46% correspondieron a muestreos verticales y el 54% a arrastres superficiales. En cambio, se colectaron cerca de 70 000 huevos/10m$^2$, el 19% correspondieron a arrastres verticales y el 81% a aguas superficiales.

## LARVAS DE PECES

La distribución de larvas de peces en aguas superficiales (Figura 7a) mostró una mayor concentración en la estación 8, con 26 773 larvas/10m$^2$ y en la estación 15 con 4950 larvas/10m$^2$. La estación 8 fue una de las pocas estaciones que se muestreó en la noche, aquí dominaron las prelarvas de engráulidos y lenguados. Mientras que, en la estación 15 cuya muestra se colectò en el día, predominaron las larvas de *Cetengraulis mysticetus* (chuhueco). Siguieron en abundancia las estaciones 16 y 4, con 3 700 y 3 000 larvas/10m$^2$, respectivamente.

En arrastres verticales, la densidad fue mayor en la estación 21, con 8630 larvas/10m$^2$ (Figura 7b), seguido de las estaciones 13, 16, 19 y 20 situadas en las Subáreas C y D (Tabla 1), con cantidades que fluctuaron entre 3 100 a 3 800 larvas/10m$^2$.

En las estaciones 7, 8, 11, realizadas en horas de la noche, se observaron en aguas subsuperficiales, importantes cantidades, entre 3 000 a 6 200 larvas/10m$^2$. Un 76% del total de larvas de la estación 21 pertenecieron a larvas de myctófidos; mientras que el 24% restante a larvas de peces demersales (camotillo, hojita, corvina, chazo, huavina, entre otros), los mismos que fueron màs numerosos en las otras estaciones.

Del total de larvas de peces encontradas en aguas subsuperficiales, las pertenecientes a las familias Engraulidae y Myctophidae fueron predominantes en un 34 y 27%. La primera frecuente en todas las estaciones y la segunda presente en el sur del Golfo (Est. 5) y desde Pto. López (Est. 11) hasta Punta Galera (Est. 21).
Las larvas de peces mas abundantes fueron *Bregmaceros bathymaster*, *Benthosema panamense* (pez linterna) y *Diaphus pacificus* (pez linterna) en Subáreas C y D mientras que prelarvas de engráulidos como *Cetengraulis mysticetus* (chuhueco), *Microgobius* sp. (gobios) y larvas de *Cynoscion* sp. (corvina) y de lenguados en las subàreas A y B.

Las larvas de peces demersales constituyeron el 24 ‰ del total analizado. De éstas se destaca la presencia de las especies *Chloroscombrus orqueta*, *Trachurus symmetricus*, *Seriola* sp., *Naucratus ductor*, *Prepilus medius*, *Serranus* sp., *Diplectrum* sp., *Prionotus stephanoprhys*, *Paralabrax* sp., *Synodus* sp., *Scorpaena* sp., *Shympurus* cf *gorgonae*, *Citharichthys*. Entre otras larvas acompañantes se describe la distribución de *Synodus* sp., *Larimus* sp., *Cynoscion* spp., *Eucinostomus* sp., *Etropus* sp., *Pomadasys* sp., *Bregmaceros bathymaster, Euthynnus alleteratus*, *Caristius* sp. y los géneros Anthias, Lepidopus, Gerres (Tabla 4).

## HUEVOS DE PECES

Respecto al total de huevos de peces, en aguas superficiales (Figura 7c), se registró un punto máximo en la estación 18 (Subárea C) con más de 250.000 huevos/10m$^2$, siguiendo en abundancia las estaciones 3 y 15 (Subáreas A y C) con un promedio de 50 000 huevos/10m$^2$. Huevos de sciánidos representaron más del 80% del total de huevos de la estación 18. En la estación 7 también hubo importante puesta de huevos en aguas superficiales, 39 000 huevos/10m$^2$, pero en horas de la noche.

En arrastres verticales, la mayor abundancia de huevos de peces (Figura 7d), se encontró en la estación 2 con 46 000 huevos/10m$^2$ y también en la estación 18 con 24 000 huevos/10m$^2$. Huevos de *Cetengraulis mysticetus* (huevos de chuhueco) constituyeron un gran porcentaje de los huevos encontrados en el Golfo de Guayaquil y de sciánidos (corvina, barriga juma) en costas de Esmeraldas.

### Distribución de especies de interés comercial

## CARANGIDAE

Entre las larvas de carángidos se encontraron las siguientes especies de interés comercial: *Chloroscombrus orqueta, Trachurus symmetricus, Seriola* sp., *Seriola lalandi, Naucratus ductor.*
*Chloroscombrus orqueta* **(Hojita).-** Larvas de

estos carángidos se observaron en un total de 1 026 larvas/10m$^2$ distribuidas en el 50% de las estaciones. Su abundancia varió de 35 a 300 larvas/10m$^2$ distribuidas en las estaciones 1, 2 y 3 (Golfo de Guayaquil), estación 12 (a la altura de Cabo San Lorenzo) y desde la Est. 16 hasta la 21 (Cabo Pasado hasta Punta Galera). Los menores valores se dieron en el Golfo y el mayor número en las estaciones 16 y 20 (Figura 7e).

***Trachurus symmetricus murphyi* (Jurel).-** Se halló un total de 318 larvas/10m$^2$, distribuidas en mayor cantidad (177 larvas/10m$^2$), en la estación 4 (Golfo de Guayaquil) y en las estaciones 16, 19 y 20 con <100 larvas/10m$^2$ (Figura 7f).

***Naucratus ductor.*-** No se encontró en la columna de agua, pero si en aguas superficiales de la estación 2, ubicada en el Golfo de Guayaquil, se encontraron 35 larvas/10m$^2$. La longitud estándar promedio del ejemplar encontrado fue de 8.02 mm.

***Seriola lalandi.*-** Se halló en aguas subsuperficiales de la estación 2 en una cantidad de 35 larvas/10m$^2$. La talla de ejemplares encontrados en este lugar fue de 4.5 mm de LS. Prelarvas de Seriola fueron frecuentes en las Subáreas C y D, estaciones 16, 19,20 y 21 (Figura 7g).

**Otros carángidos.-** Larvas de otros carángidos no fueron posibles de identificar a nivel de género debido a su pequeño tamaño, y se encontraron en las estaciones 2 y 4 del Golfo de Guayaquil y en estaciones situadas frente a Cabo Pasado, San Mateo y San Pedro. El rango de abundancia osciló entre 35 y 71 larvas/10m$^2$ (Figura 7g).

## STROMATEIDAE

***Prepilus medius* (Chazo).-** Larvas de esta especie se encontraron en las estaciones 10, 17, 19 y 21, con 35 a 71 larvas /10m$^2$, correspondiendo el mayor valor a la subàrea C donde predominaron individuos adultos de esta especie. La longitud estándar promedio de las larvas analizadas fue de 2.9 mm (Figura 7h).

## SERRANIDAE

La abundancia de larvas fluctuó de 35 a 248 larvas/10m$^2$. Se observaron larvas y prelarvas pertenecientes a *Serranus* sp., *Diplectrum* sp., *Anthias* y *Paralabrax* sp. Otros indeterminados por su pequeño tamaño se encontraron en la estación 2 (35 larvas/10m$^2$). A nivel de familia la mayor concentración de larvas se observó en la estación 20 (Figura 8a).

***Serranus* sp..-** El rango de abundancia osciló entre 35 y 106 org/10m$^2$. El valor máximo se ubicó en la estación 20, frente a la población de San Pedro. Siguieron en abundancia las estaciones 2 y 6 situadas en el Golfo y frente a Cabo Pasado con 71 larvas/10m$^2$ (Figura 8b). Las larvas analizadas presentaban una longitud estándar inferior a 2.7 mm.

***Diplectrum* sp. (Camotillo).-** Se identificaron en las estaciones 17, 20 y 21 (Subàreas C y D) entre 35 y 106 larvas/10m$^2$. El mayor número correspondió a la penúltima estación. Las larvas encontradas presentaron <3 mm de LS (Figura 8a).

***Paralabrax* sp. (Perela) y *Anthias* sp..-** Larvas pertenecientes a Paralabrax sp. se encontraron en las estaciones 13 y 20 en un número de 35 larvas/10m$^2$. *Anthias* sp. en la estación 13 en la misma cantidad. El tamaño de estas larvas fue menor a 1.6 mm de longitud estándar (Figura 8a).

**Otros Serranidae.-** Se hallaron repartidas en las estaciones 9, 10, 19 y 21. La mayor cantidad se halló en la Subárea D, en las dos últimas estaciones, con 141 y 106 org/10m$^2$ (Figura 8a).

## SYNODONTIDAE

Larvas pertenecientes a esta familia se concentraron frente a Cabo Pasado, estación 16 con 141 larvas/10m$^2$. Las especies identificadas correspondieron a Synodus sp., *Trachinocephalus myops* y a *Saurida* sp.

***Synodus* sp. (Huavina).-** Las larvas identificadas como *Synodus* sp. fueron las más numerosas de esta familia y tuvieron una importante concentración frente a Cabo Pasado, 106 larvas/10m$^2$ (Figura 8c).

## GOBIIDAE (gobios)

Larvas gobius fueron abundantes y se hallaron

distribuidas a lo largo de toda la costa, predominando *Microgobius* spp. y una gran cantidad de prelarvas. La mayor abundancia fue hallada en las estaciones 6 y 19 con 601 y 566 larvas/10m$^2$ (Figura 8d).

## PLEURONECTIFORMES (lenguados)

Dentro de este Orden se identificaron las familias Pleuronectidae, Paralichtyidae, Cynoglossidae. Una gran cantidad de prelarvas estuvieron presentes (Figura 8e).

## PARALICHTYIDAE

En general, las larvas Paralichtyidae se concentraron en las Subáreas C y D con 353 y 530 larvas/10m$^2$, respectivamente.

***Citharichthys* spp. (lenguado).-** Se presentaron especialmente en costas de Manabí (Figura 8f) en las estaciones 12 y 21 con más de 100 larvas /10m$^2$. El tamaño promedio de estas larvas fue 1.9 mm de LS.

***Etropus* sp. (lenguado).-** Las larvas fueron escasas y localizadas en las estaciones 3 y 20, con 35 larvas/10m$^2$ en cada lugar. Se hallaron ejemplares con talla hasta 9 mm de LS.

## CYNOGLOSSIDAE

***Symphurus* sp. (lenguado).-** La familia Cynoglossidae estuvo representada por Symphurus sp. distribuida entre 35 y 141 larvas/10m$^2$, las mayores cantidades se dieron en las estaciones 17, 19 y 20 localizadas en las subàreas C y D, respectivamente. En la estación 16 se hallaron ejemplares de hasta 10 mm de LS (35 org/10m$^2$), en igual cantidad en la estación 5 en el Golfo de Guayaquil (Figura 8g).

## SCORPAENIDAE

Estuvo representada por los géneros Sebastes y Scorpaena. *Sebastes* sp. se encontró en la estación 5, con 35 larvas /10m$^2$. La longitud estándar promedio fue de 3.13 mm.

Larvas de *Scorpaena* sp. (brujo) se identificaron en costas de Manabí, en mayor número en las estaciones 12 y 17 con 106 y 141 larvas/10m$^2$ (Figura 8h).

## SCIAENIDAE

Larvas de esta familia se distribuyeron en toda la costa en un rango de abundancia entre 35 y 250 larvas/10m2. La mayor concentración de larvas se diò en la estación 4 (Golfo de Guayaquil) y estación 16 (Cabo Pasado) con más de 200 larvas /10m$^2$. Se identificaron *Cynoscion* sp., *Stellifer* sp., *Larimus* sp., entre otros (Figura 9 a,b).

***Stellifer*** sp. (polla) fue encontrada en las estaciones 5 y 12 con 106 larvas /10m$^2$ en cada una y *Larimus* sp. en las estaciones 1 y 13, con 35 y 248 larvas/10m2 (Figura 9a).

***Cynoscion* sp. (corvina).-** Larvas de *Cynoscion* sp. fueron las de mayor frecuencia entre los sciánidos, se distribuyeron en el Golfo de Guayaquil y en las costas de Manabí, con mayor abundancia en la estación 16 a la altura de Cabo Pasado, 106 larvas/10m$^2$ (Figura 9b).

## TRIGLIDAE

***Prionotus stephanophrys* (gallineta).-** Ejemplares de esta especie se encontraron ùnicamente en el Golfo de Guayaquil, en las estaciones 1 y 3 con 35 larvas/10m$^2$ en cada una. El promedio de talla de esta especie fue de 3.07 mm.

## GERRIDAE

***Eucinostomus* sp. (mojarra).-** Esta especie se encontró entre 35 y 177 larvas/10m$^2$, especialmente en la estación 12. Las otras estaciones en la que se halló fueron las 10, 15 y 20 en número de 35 larvas/10m2. Tamaño de talla promedio de estas larvas fue 2.4 mm.

## HAEMULIDAE

**Pomadasys sp. (boquimorado).-** Fueron escasas en los arrastres verticales y se hallaron en las estaciones 1, 5, 10 y 16, en una cantidad de 35 larvas/10m$^2$ en cada lugar. La talla promedio de las larvas encontradas en la estación 1 fue de 5.6 mm de LS.

## ENGRAULIDAE

***Cetengraulis mysticetus* (chuhueco).-** Especie pelágica costera, se encontró en la mayor parte de las estaciones (índice de frecuencia: 0.66). Con una densidad máxima de 1 238 larvas

/10m2 en la estación 15, cerca de la desembocadura del río Chone (Figura 9c). En las estaciones situadas en el Golfo de Guayaquil (Est. 3) y Cabo San Lorenzo (Est. 12) se hallaron 637 y 566 larvas /10m$^2$ respectivamente, en las demás estaciones sus densidades bajaron de 500 larvas/10m$^2$.

**Estructura biológica por Subáreas: número y abundancia relativa de larvas de peces**.

La biomasa ictioplanctónica se distribuyó por igual en la plataforma continental desde Santa Elena hasta Esmeraldas, Subáreas B, C y D (Tablas 1, 3 y 5), con un porcentaje de 27, 27 y 28%, respectivamente. En el Golfo de Guayaquil, correspondiente a la Subárea A, el total de larvas encontradas fue del 18% del total de larvas de peces capturadas en toda el área de estudio. El gráfico de distribución de las abundancias por subárea, en la columna de agua (Figura 11a) muestra diferencias no significativas (KW>0.5) y una mayor biomasa en la subárea D.

A nivel específico se observaron mayores diferencias en abundancia relativa (Tabla 4). Las larvas pertenecientes a engráulidos y clupeidos fueron predominantes en las subáreas A y B; mientras que los myctófidos, en la subárea D. El diagrama de caja de distribución de larvas de chuhueco por subárea muestra mayor rango de abundancia en el Golfo de Guayaquil (Figura 11b)

Entre las larvas de peces demersales (Figura 10), los pertenecientes a los lenguados fueron los más abundantes en la Subárea B (30% del total de peces demersales), especialmente los Pleuronectidae. Dentro de este grupo de lenguados, *Citharichthys* sp. y *Symphurus* sp. fueron predominantes en las subáreas C y D, respectivamente, mientras que *Etropus* sp. se encontró en la Subárea A.

Las larvas de gobios (Gobiidae) siguieron en abundancia después de los lenguados y representaron un 26 y 24% del total de larvas de peces demersales en el Golfo de Guayaquil (Subárea A) y frente a costas de Esmeraldas (Subárea D). Microgobius fue el género mas frecuente.

Las especies de la familia Serranidae representaron el 7% de las larvas de peces demersales: *Diplectrum* sp., *Anthias* sp., *Paralabrax* sp. fueron las especies principales en las Subáreas C y D.

Larvas de Carangidae, constituyeron el 13%: *Chloroscombrus orqueta* y prelarvas de *Seriola* spp. presentaron su mayor porcentaje también en la zona costera norte (Subáreas C y D) y larvas de jurel *T. symmetricus murphyi* fueron más frecuentes en el Golfo (Subárea A). La distribución de larvas de *C. orqueta* (Figura 11c), muestra diferencias significativas de la abundancia (KW<0.5) entre subáreas, con mayor densidad en la subárea D.

Larvas de Stromateidae, un 1% del total de peces demersales y su representante Prepilus medius con mayor número de ejemplares en las Subáreas C y D.

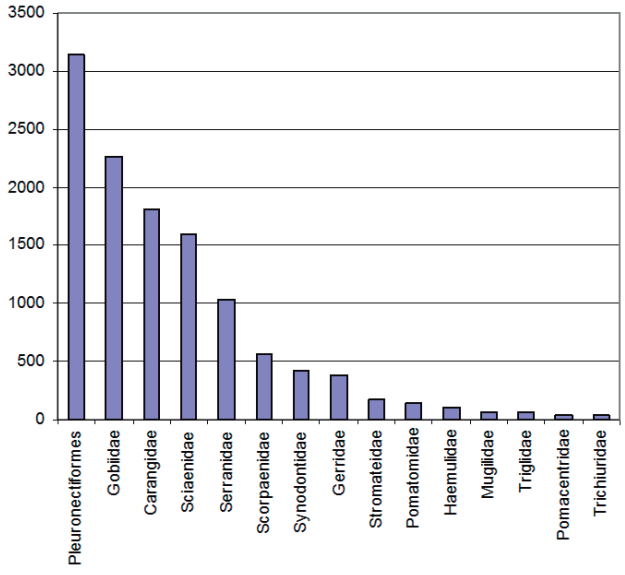



**Figura 10.** Abundancia de las principales larvas de peces/10m$^2$ demersales en crucero T 05/11/01D.

Las larvas de Sciánidos constituyeron el 13% del total de larvas de peces demersales encontrados en la costa y dentro de las Subàreas A y C constituyeron un 20 y 15% del total; Stellifer sp. y otros scìánidos en la Subàrea A y larvas de *Cynoscion* sp. en la Subàrea C

Otras larvas de peces representativas fueron *Scorpaena* sp., *Synodus* sp. que constituyeron el 7 y 4% en la Subárea C y *Eucinostomus* sp. un 6% en la subàrea B. *Bregmaceros bathymaster*, una de las especies de larvas abundante en noviembre 2005, (Figura 11d) presentó mayor rango de abundancia en la subárea C, entre 100 y 600 larvas/10 $m^2$, una media alrededor de 300 y un máximo de 800 larvas /10 $m^2$.

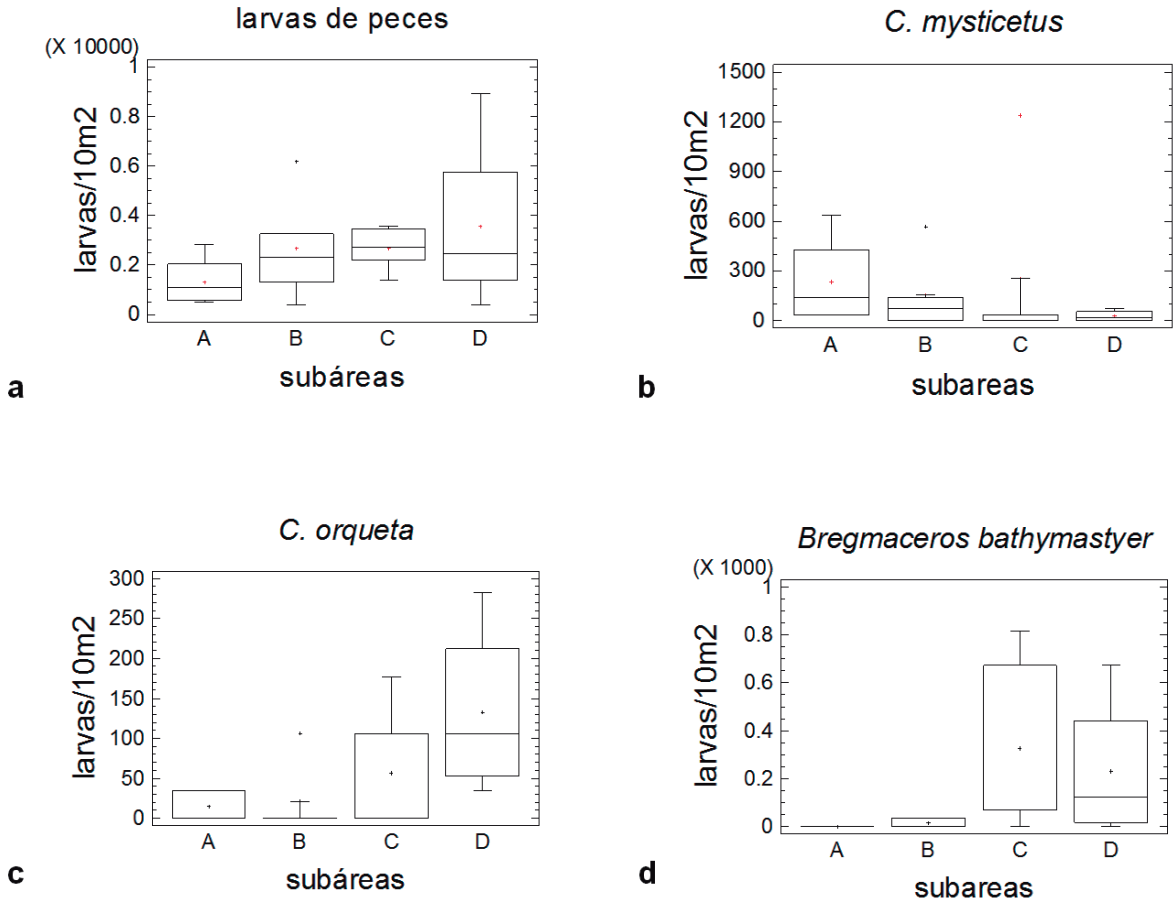



**Figura 11.** Variación de abundancia de larvas de peces por subáreas:a) total de larvas de peces en la columna de agua, b) larvas de *C. mysticetus*, c) larvas de *C. orqueta*, d) larvas de *Bregmaceros bathymaster*, en aguas subsuperficiales, durante crucero T 05/11/01 D

**Tabla 3.** Larvas de peces con mayor densidad en cada Subáreacrucero T 05/11/01

| SUBÀREA | LARVAS DE PECES |
|---|---|
| Subárea A | Anchoa |
| | *Anchovia* sp. |
| | *Etropus* sp. |
| | *Microgobius* spp. |
| | Haemulidae (*Pomadasys* sp) |
| | Sciaenidae |
| | *Trachurus symmetricus murphyi* |
| | *Seriola* sp. |
| | *Prionotus stephanophrys* |
| Subárea B | Engraulidos |
| | Clupeidos |
| | Pleuronectidae |
| | Bothidae |
| | *Citharhichthys* sp. |
| | *Eucinostomus* sp. |
| Subárea C | *Cetengraulis mysticetus* |
| | *Bregmaceros bathymaster* |
| | *Prepilus medius* |
| | *Pomadasys* sp. |
| | *Synodus* sp. |
| | *Larimus* sp. |
| | *Scorpaena* sp. |
| | *Euthynnus alleteratus* |
| | *Benthosema panamense* |
| | *Diaphus pacificus* |
| | *Caristius* sp. |
| | *Vinciguerria lucetia* |
| Subarea D | Prelarvas de myctófidos |
| | *Citharichthys* sp. |
| | *Shympurus* sp. |
| | Lepidopus |
| | Gobius |
| | *Leuroglossus stilbius* |
| | *Serranus* sp. |
| | *Paralabrax* sp. |
| | *Diplectrum* sp. |
| | *Chloroscombrus orqueta* |

## DIVERSIDAD

La diversidad de larvas de peces obtenidas en la costa ecuatoriana durante el crucero realizado en noviembre 2005 presentó variaciones en las diferentes Subáreas, un mayor índice de diversidad de Shannon se obtuvo en la Subárea C y el menor índice en la Subárea B (Tabla 4).

Los Índices de diversidad de larvas de peces (Figura 12) fluctuaron entre 0,387 hasta 4,147 bits; los menores rangos se dieron en las estaciones 11 y 15 y los mayores en las estaciones 19 y 16. También se calculó el índice de equitatividad obteniéndose el mayor índice para la Subárea C y el menor para la Subárea B.

**Tabla 4.** Índices de Diversidad de Shannon y Weaver y de equitatividad de Pielou

| Índices | Subárea A | Sunárea B | Subárea C | Subárea D |
|---|---|---|---|---|
| Diversidad | 3.7 | 2.58 | 4.26 | 3.41 |
| Uniformidad | 0.73 | 0.52 | 0.76 | 0.62 |

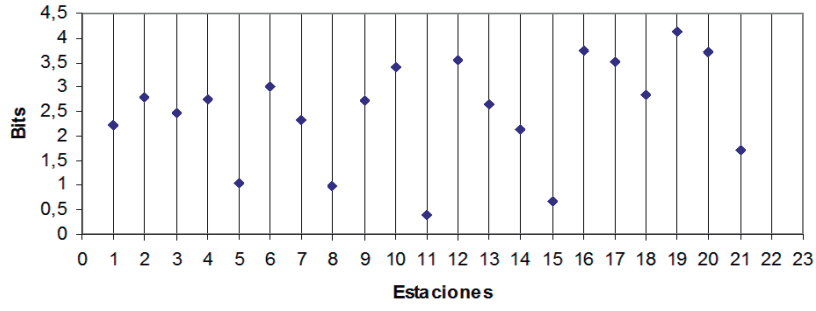


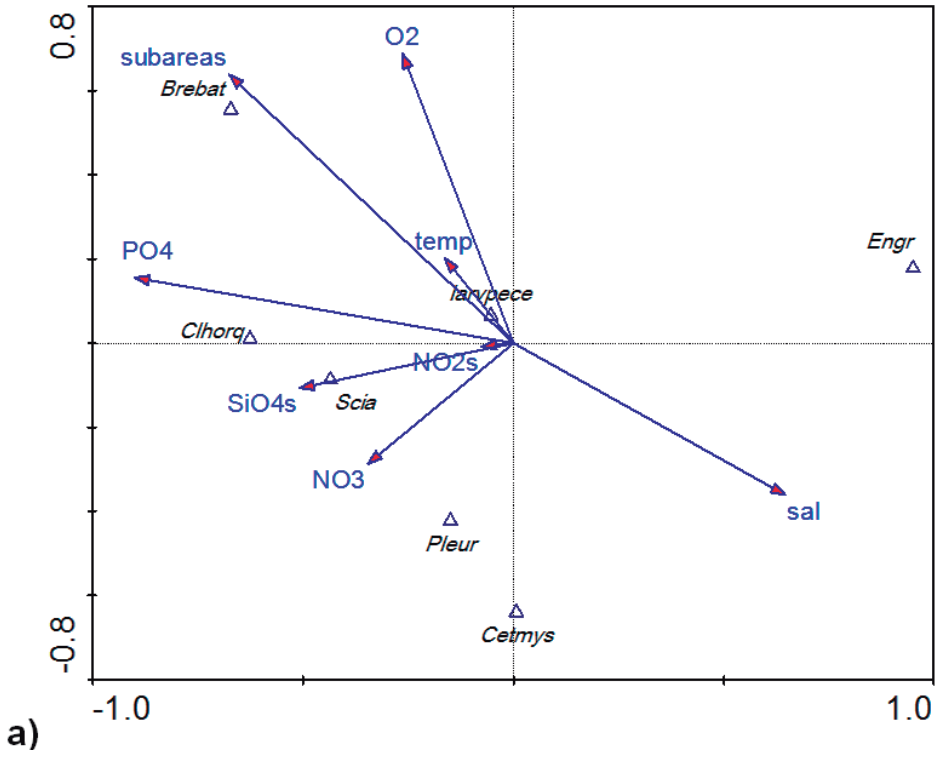

**Figura 12.** Índice de diversidad de Shannon en las diferentes estaciones, durante T 05/11/01 D Correlaciones

Se observó una fuerte correlación positiva (r = 0.5 a 0.88) entre la mayor parte de las larvas de los peces más abundantes en la Zona D, con los altos valores de temperatura, nutrientes y fitoplancton presentes en la parte norte de la costa del Ecuador durante noviembre de 2005 (Tabla 6). Las larvas de las especies en referencia son: *Chloroscombrus orqueta*, *Citharichthys* spp., *Gobius* spp., *Symphurus* spp., *Microgobius* spp., *Serranus* sp., *Diplectrum* sp., *Paralabrax* spp., Serranidae, Carangidae, prelarvas de Myctophidae. La interrelación *C. orqueta* y diatomeas fue directa (0.77) (Figuras 14 y 15).

Larvas de *Benthosema panamense* y *Bregmaceros bathymaster,* abundantes en la Zona C, también presentaron correlaciones con estos parámetros ambientales pero esta última tan solo con la temperatura, nitratos y el foraminífero *Globorotalia menardii* (Tabla 7). En la Subárea B y A, prelarvas de lenguado (Pleuronectiformes) y *Etropus* sp., respectivamente, tuvieron afinidad por diatomeas, dinoflagelados, especialmente a 30 m de profundidad, y la cantidad de nutrientes a 0 m (Tablas 8-9).

El gráfico 13a revela la correlación positiva entre las principales larvas de peces con los parámetros fisico-quimicos como el Oxigeno y la temperatura, las larvas de *C. orqueta* y Sciaenidae con los fosfatos, silicatos y nitratos. Larvas de *C. mysticetus* y lenguados asociados también con los nitratos y en relación inversa con el Oxígeno y temperatura.

Respecto a la relación larvas de peces con los factores bióticos del ecosistema (Figura 13b), se observa que larvas de *B. bathymaster*, *C. orqueta* y larvas de lenguado presentaron una correlación significativa con las diatomeas y el foraminífero *Globorotalia menardii*; las larvas de Sciaenidae con los dinoflagelados y el zooplancton estratificado, mientras que, larvas de *C. mysticetus* se observan asociados a los cladóceros y la biomasa zooplanctónica en aguas superficiales.



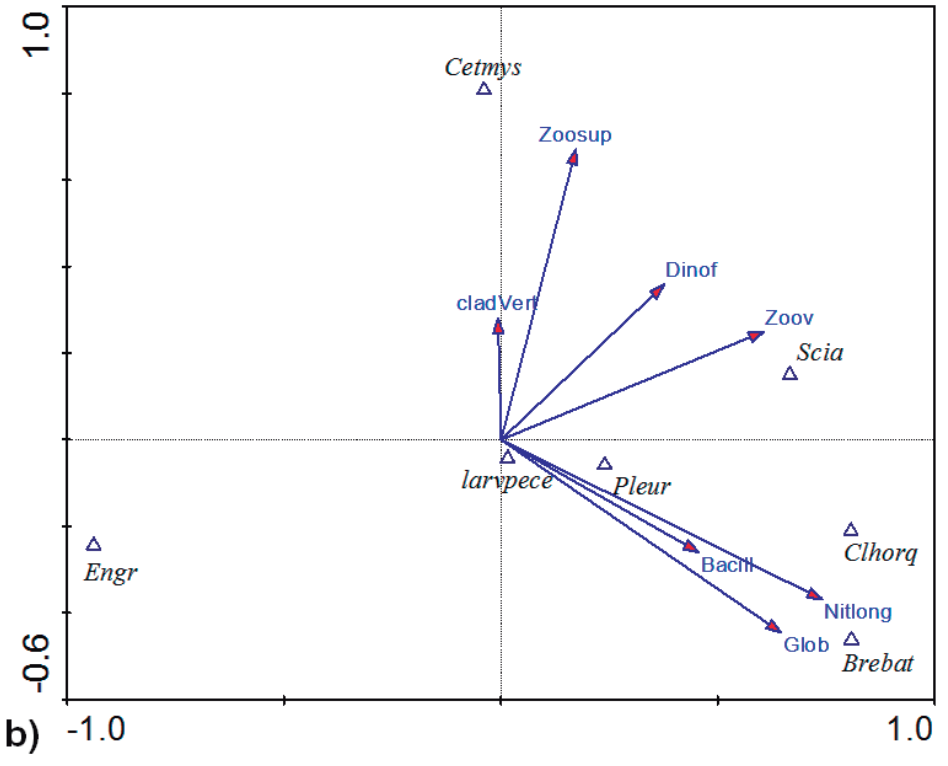




**Figura 13.** a) Interrelaciones entre especies frecuentes de larvas de peces, con parámetros físico-químicos en aguas costeras durante crucero T05/11/01D. Las abreviaturas corresponden a: Engr: Engraulidae; Brebat: *Bregmaceros bathymaster*; larvpece: larvas de peces; Clhorq: *Clhoroscombrus orqueta*; Scia: Sciaenidae; Pleur: Pleuronectiformes; Cetmys: *Centengraulis mysticetus*; sal: Salinidad; NO3: Nitratos; SiO4s: Silicatos; PO4: Fosfatos; O2: Oxígeno; temp: Temperatura; NO2: Nitritos b) Interrelaciones entre especies frecuentes de larvas de peces, con parámetros bióticos en aguas costeras durante crucero T05/11/01D. Las abreviaturas de los parámetros bióticos corresponden a cladVert: cladóceros; Zoosup: zooplancton superficial: Dinof: dinoflagelados; zoov: zooplancton estratificado; Nitlong: *Nitchzchia longuissima*; Bacill: diatomeas; Glob: *Globorotalia menardii*.

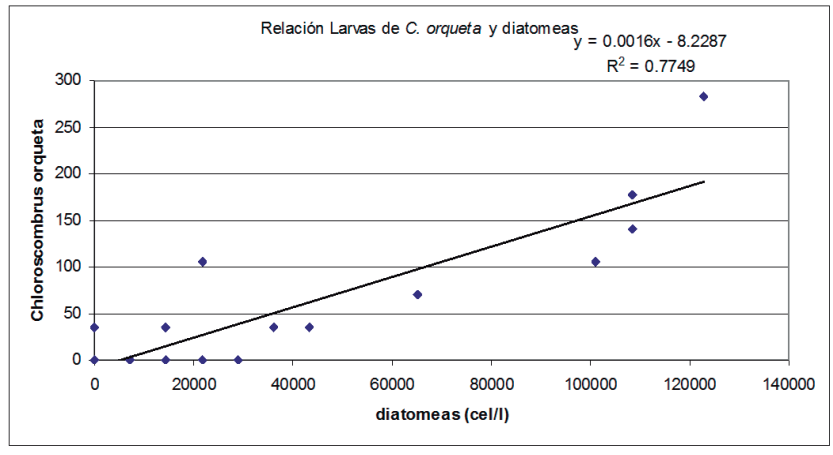



**Figura 14.** Relación larvas de Chloroscombrus orqueta - diatomeas

La figura 15 esquematiza la distribución de *fosfatos – diatomeas- zooplancton-* total de *larvas de peces –* larvas y *peces adultos de C. orqueta*. Se evidencian picos de abundancia en la costa norte (subareas C y D), entre Cojimies - Bahia de Caráquez y en la costa sur en el Golfo de Guayaquil, demostrando también en el área del estuario de Chone, la interrelación inversa que existe entre el ictioplancton (*larvas de peces*) y el *zooplancton* (Figuras 15d y 15c) y positiva con el *fitoplancton* (Figuras 15d y 15b).

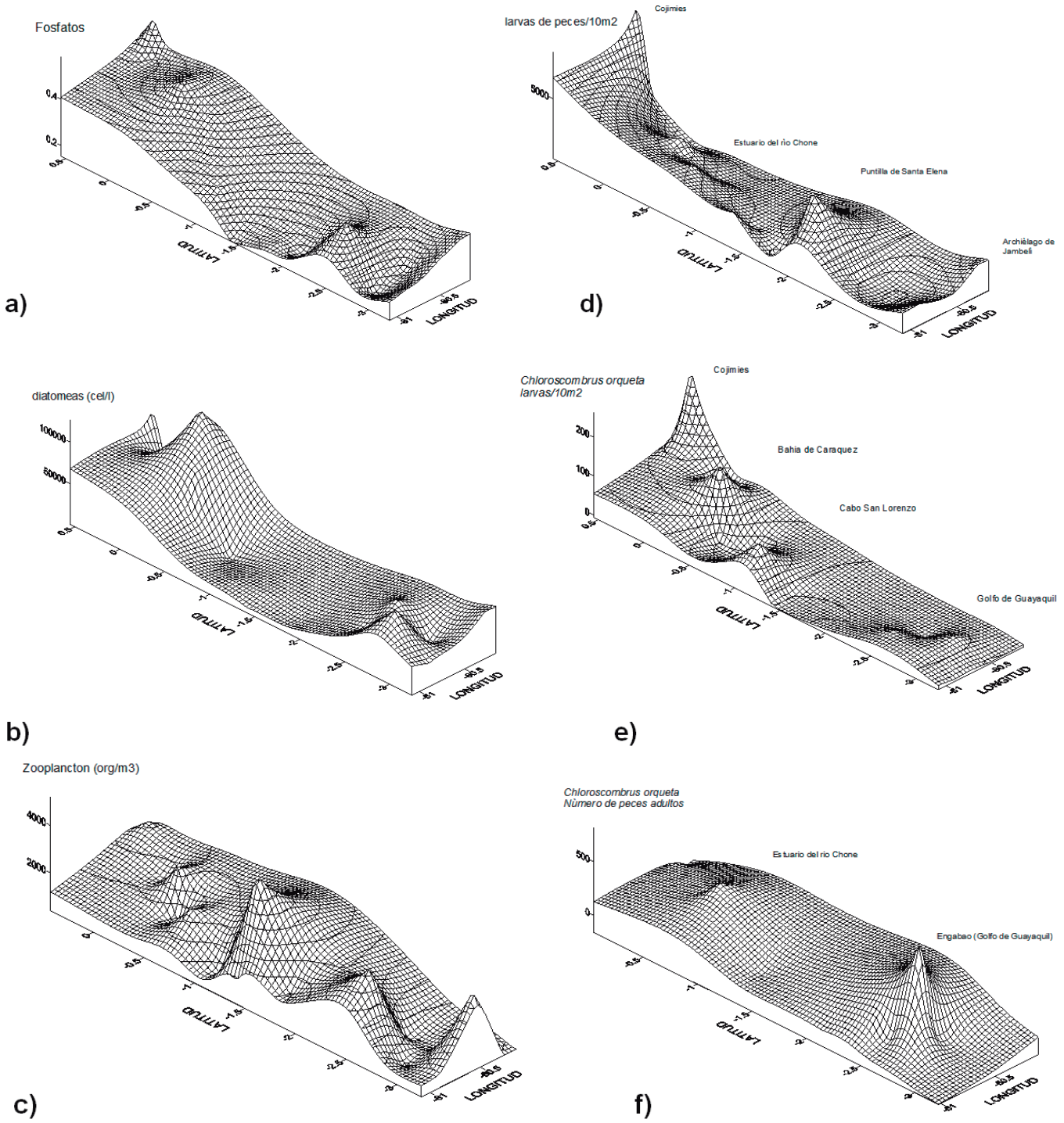



**Figura 15.** Distribución esquemática de: (a) fosfatos, (b) fitoplancton, (c) zooplancton, (d) larvas de peces, (e) larvas de Chloroscombrus orqueta y (f) peces adultos de C. orqueta. Se advierte la interacción de factores físico-químicos y biológicos (fosfatos – fitoplancton – zooplancton – larvas de peces y de larvas - adultos de C. orqueta) durante crucero T 05-11-01D.

## DISCUSIÓN

La mayor abundancia de huevos y larvas de peces encontrados durante el crucero demersal de noviembre 2005 se relaciona, entre otros factores ambientales, a migraciones nocturnas de larvas frente a la Puntilla de Santa Elena y a una gran disponibilidad de alimento fitoplanctónico durante el día frente a Muisne y Cabuyal (Figura 5 a). Esto contribuyó a la masiva presencia de prelarvas de lenguados y engráulidos capturados en horas de la noche en

la Subárea B y la cantidad de prelarvas de myctofidos y diversidad de larvas de peces demersales en las Subáreas C y D. La densidad de larvas en las estaciones 8 y 21, contrasta con la baja diversidad encontrada en estas dos estaciones, 0.99 y 1.7 bits, a la altura de Santa Elena y Muisne, respectivamente.

Las correlaciones realizadas entre larvas y factores ambientales, indican que las concentraciones de prelarvas de engráulidos, clupeidos y lenguados estuvieron asociadas a menores rangos de salinidad, r = -0,9. Si bien, los datos de salinidad existentes para este crucero corresponden sólo a las estaciones del Golfo hasta la parte norte de la Península de Santa Elena, la influencia de la salinidad en la distribución de estas prelarvas es evidente (Tabla 9), inclusive para la especie *Cetengraulis mysticetus* (chuhueco), *Anchoa* spp. y *Anchovia* spp. (anchoas). En cambio, en la costa norte, larvas de *Citharichthys* spp. (lenguado) presentaron una correlación positiva con la temperatura, r = 0.5, 0.6; en los diferentes niveles de profundidad: 0-30m; igual sucedió con larvas de *Symphurus* sp. pero con datos de temperatura a los 10 - 20 m.

En cuanto a la densidad ictioplanctónica a lo largo de la costa, la temperatura superficial fue de mayor influencia en la cantidad de prelarvas de myctofidos observados (r= 0.5) en la Subárea D. Sin embargo, con larvas de lenguados *Citharichthys* spp. cuya densidad fue mayor en esta subárea, y en menor escala las de prelarvas de myctòfidos, se obtuvieron también importantes correlaciones con la diatomea *N. longissima*, r=0.64 y con fosfatos y silicatos r=0.5. La distribución de otras larvas de peces de interés comercial como *Microgobius* sp., *Gobius* spp., *Serranus* sp., *Paralabrax* sp., *Diplectrum* sp. y *Chloroscombrus orqueta* (Tabla 6), estuvo condicionada, a más de la temperatura, por los valores de fosfatos, nitratos, oxígeno, diatomeas y dinoflagelados (r = 0.4 a 0.88).

Colindante con el área de mayor abundancia de larvas de peces (Figura 7b), se encontró la mayor diversidad (4.17 bits) de larvas en la costa ecuatoriana, estaciones 21 y 19, respectivamente. El aporte de nutrientes a través de la ensenada de Muisne y Cojimíes enriquecerían estas aguas costeras dando lugar a multiplicaciones algales y moderado aumento de zooplancton herbívoro que alimentarían una mayor diversidad de larvas de peces observados en aguas subsuperficiales.

Iguales observaciones, respecto a la diversidad de larvas de peces, se hicieron en la costa norte de Manabí (Subárea C), donde, la descarga del río Chone en aguas oceánicas más cálidas, acarrearían los nutrientes necesarios para el florecimiento de fitoplancton y leve crecimiento del zooplancton, disponibles como alimento de las especies de larvas de peces pelágicos y demersales presentes en el área. Los índices de diversidad de larvas calculados para la Subárea C en su conjunto, fue de 4.26 Bits. Índices de correlación positivos (r= 0.42 a 0.95) entre la temperatura, nitratos, fosfatos y larvas de *C. mysticetus*, *B. bathymaster* y *B. panamense* fueron encontrados en esta subárea.

Correlaciones significativas se dieron entre larvas de chuhueco, peces linterna, *Cynoscion* sp., *Prepilus medius*, *Scorpaena* sp., *Synodus* sp., y también *C. orqueta* con diatomeas y dinoflagelados. Las larvas de atún *Euthynnus alleteratus* constituyeron también parte de esta riqueza biológica frente a Cabo Pasado.

La zona marino costera de la Península de Santa Elena hasta Cabo San Lorenzo (Subarea B) fue la zona de menor diversidad de larvas de peces (2.6 bits) de la costa ecuatoriana, datos que contrastan con la abundancia de prelarvas de peces clupeiformes y lenguados capturados durante la noche a la altura de Santa Elena. En cruceros de pesca demersal realizados en 1999 (Luzuriaga y Elías, 1999) también se observó una baja en la cantidad de larvas de peces en la Subárea B. Durante el presente estudio, la ínter gradación de nutrientes, fosfatos y nitratos observados a 30 m de profundidad en esta zona

y el aumento de biomasa zooplanctónica en aguas superficiales en la zona (Figuras 4 y 5), sugieren activo pastoreo por parte de copépodos y otros zooplancteres herbívoros que consumen el fitoplancton en franca competencia con las larvas de peces (Figura 15). Gran parte de las larvas analizadas en este lugar habían sido atacadas por copépodos cyclopoides.

Altas densidades de la biomasa zooplanctónica, tuvieron una significativa correlación negativa con la biomasa total de larvas de peces (r= -0.59), a excepción de *Prionotus stephanophrys* (r= 0.5), en aguas superficiales y *Gobiosoma* sp. (0.63), *Pomadasys* sp. y *Microgobius* spp., en aguas subsuperficiales, con las cuales la correlación fue positiva. Según Navarro et al. (2001), la abundancia de larvas de peces tropicales cuyo ciclo reproductivo se extiende la mayor parte del año en el Pacífico, es coincidente con una alta biomasa de plancton.

Las correlaciones realizadas entre las larvas de peces y los factores ambientales en la costa sur indican la influencia antagónica de la salinidad con respecto a la abundancia de peces engráulidos y clupeidos (*Opisthonema* spp.) y lenguados (r= -0.60 a -0.89). Estos ùltimos (*Citharichthys* spp., *Etropus* sp, Paralichtydae, Bothidae), también relacionados con la cantidad de nutrientes y diatomeas. Larvas de *Eucinostomus* sp. también presentaron una mayor concentración en la subárea B, coincidiendo con una mayor cantidad de adultos presentes también en la zona (Herrera, 2006).

La abundancia de zooplancton: copépodos, cladóceros –, y una mayor diversidad de larvas de peces de la zona A (3,7 bits, segunda en importancia después de la calculada para la zona D), se deben a la influencia de la Corriente de Humboldt en el Golfo de Guayaquil. Larvas de *Anchoa* spp., *Anchovia* spp., *Microgobius* spp., *Stellifer* sp., *Trachurus symmetricus*, *Etropus* sp. incrementaron sus valores en el Golfo. La cantidad de nutrientes y fitoplancton: diatomeas y dinoflagelados propios de Humboldt enriquecen la subárea A.

En general, las larvas de peces en su conjunto presentaron correlaciones positivas con la temperatura e inversas con la salinidad durante el crucero de noviembre 2005. La mayor parte de las especies del ictioplancton estuvieron distribuidas hacia la parte norte de la costa ecuatoriana donde proliferó el fitoplancton (junto con el foraminífero *Globorotalia menardii* especie indicadora de aguas oceánicas cálidas) y las menores cantidades de zooplancton. Este último concentrado en la costa sur hacia el Golfo de Guayaquil en aguas superficiales y en parches en aguas subsuperficiales, colindantes con mayores concentraciones de larvas de peces mencionadas en cada Subárea. El índice de correlación presentado entre el total de larvas de peces y total de copépodos fue de -0.62 con P=5%.

Observando la densidad de peces adultos (Herrera, 2006), capturados durante el crucero de noviembre 2005, se encontró una relación de presencia adulto - larva. Así, *Prepilus medius*, abundante como adulto en Subáreas C y D, *Eucinostomus* sp. en la Subárea B, *Pomadasys* sp. en las Subáreas A y C, y *Larimus* sp. en la Subárea D; estuvieron representados en estado larvario en sus respectivas Subáreas, a excepción de *Larimus* sp. cuyas larvas fueron identificadas en la Subárea C y no en la D donde dominaba el adulto.

La interacción de factores ambientales y biológicos, tales como fosfatos - abundancia y distribución de diatomeas – zooplancton - larvas de peces y peces adultos, se evidencian en la Figura 15. Las zonas de pesca donde se obtuvo mayor abundancia de adultos de *Chloroscombrus orqueta* coincide con los picos de producción biológica, especialmente de fitoplancton observados en el sur y norte de la zona costera (Figura 15b y 15f). *C. orqueta* es de hábitat tropical, planctívora, se alimenta de pequeños crustáceos zooplanctónicos (Laroche et al 2006). Estadios de madurez sexual, y hábitat de peces, serían parámetros útiles de comparar con la presencia y abundancia de

huevos y larvas para lograr un mejor conocimiento del comportamiento de los recursos pesqueros.

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi reconocimiento a los Directivos del Instituto Nacional de Pesca por el apoyo brindado a la realización de esta investigación. También mi agradecimiento al Biólogo Marcos Herrera, Jefe de crucero demersal T 05/11/01, y al personal del área de Plancton y Oceanografía por datos de plancton y datos físicos - quimicos que se utilizaron en las correlaciones realizadas en este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

**Alhstrom,E.H . & H. G.Moser, 1980.-** Characters useful in identification of pelagic marine fish eggs. Calif. coop. Oceanic. fish. Invest. Rep. 21:121-131pp.

**Beltrán, B.S., 1992.-** Identificación y descripción de los tipos de huevos, larvas y post-larvas de Engraulidos y (Pisces, Clupeiformes) en el Pacífico colombiano feb-marzo 1991.Tesis. Univ. del Valle. Fac. de Ciencias .pp 140

**Beltrán S. y R. Ríos, 2000.-** Estados tempranos de peces del Pacífico Colombiano. Tomos I y II. Universidad del Valle. Colombia

**Cruz P. Manuel 2010.-** Pterópodos y heterópodos como bioindicadores del Evento "El Niño" y su relación con la temperatura y salinidad en la costa ecuatoriana (1990 – 2007). Tesis de Maestría. Repositorio. Fac. CC. NN.Universidad de Guayaquil

**CPPS 2005.-** Boletín de Alerta Climática Nº 182 ERFEN. Guayaquil- Ecuador

**García M.L., G. Larrea, C. Aguirre y A. Vásquez 1993.-** Zooplankton biomass, Zooplankton and Icthyoplankton abundance around Galápagos Islands in 1983-1984. *Rev. CC.MM. y Limn*. Vol 3. N°1. INP. Guayaquil, Ecuador.

**Herrera Marcos 2006.-** Base de datos de Crucero T05/11/01 D. Informe Interno INP.

**Laroche W.A., J.G. Ditty, J.T. Lamkin, S.R. Whitcraft 2006.-** CARANGIDAE: Jacks Chapter 132. Early Stages Atlantic Fishes. An identification Guide for the western Central North Atlantic. Volume II Edited by William J. Richards. Pp-1439- 1509

**Luzuriaga de Cruz, Ma. 2009.** Distribución espacio-temporal del ictioplancton y zooplancton marino en las Islas Galápagos (1998–2001). *Acta Oceanográfica del Pacífico.* Vol.15, N° 1.

**Luzuriaga de Cruz Ma., D. Ortega, E. Elías y Ma. E. Flores 1998.** Relaciones de Abundancia entre el fitoplancton e Ictioplancton, con especial énfasis en familia ENGRAULIDAE. INP-Año Internacional de los Océanos. *Edición Especial. 1998*. p. 387- 418- Ecuador

**Luzuriaga M y Elías E. 1999.-** Variación de las poblaciones del zooplancton e ictioplancton en el mar ecuatoriano desde 1994 a 1999. *Edición Especial.* INP. Guayaquil- Ecuador

**Luzuriaga de Cruz Ma. y E. Elías 1999 a.-** Ictio y Zooplancton en el Golfo de Guayaquil durante la Prospección de peces pelágicos 03-99 *Boletín Científico y Técnico,* INP (Ecuador) 17(8): 65-74, 1999

**Luzuriaga V. Ma. 2003 - 2004.-** Larvas de peces clupeiformes y Microzooplancton en la estación Fija "La Libertad" desde noviembre de 1999 a julio del 2000. *Acta Oceanográfica del Pacífico* 2003-2004 INOCAR ISSN N.-1390-129 X VOL. 12, N.-1, 2003-2004 pp 75-80

**Luzuriaga de Cruz, Ma., F. Solano y D. Cevallos 2007.-** Bioecología de huevos y larvas de peces Cetengraulis mysticetus (chuhueco), Opisthonema sp (pinchagua) y anchoas en la Reserva Ecológica Manglares Cayapas- Mataje. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. Vol.14, N° 1pp. 101–114.

**Luzuriaga María, E. Elías y G. Garcés, 2011.-** Interrelación entre el ictioplancton y zooplancton marino durante septiembre – octubre 2003. *Revista Ciencias del Mar y Limnología* (2011). V.5 (1) pág. 1-16.

**Matarese A, A. Kendall Jr,, D. Blood and B. Vinter 1989.-** Laboratory Guide to Early Life History Stages of Northeast Pacific Fishes. NOAA Technical Report NMI. U.S.A.

**Moser H.G. and W.J. Richards 1983.-** Ontogeny and Systematic of Fishes. Based on an International Symposium dedicated to the Memory of Elbert Halvor Ahlstrom. August 15-18 1983, *Special Publication* Number 1, La Jolla, California.

**Navarro M., S. Hernández, R. Funes y R. Flores 2001.-** Distribución y abundancia de larvas de peces de las familias Haemulidae, Scienidae y Carangidae de la Plataforma continental de Jalisco y Colima, México. *Bol. Centro Invest. Biol.* 35(1) 1-24

**Shannon, C. E. y WeaverW. 1949.-** The Mathematical Theory of Communication. Univ. Illinois Press, Urbana.

**Smith y Richardson 1979.-** Técnicas Modelo para las Prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO. Documento Técnico de Pesca N° 175. 107 pp.

**Villamar y Ortega 1991.-** Estudio de huevos y larvas de peces en el mar ecuatoriano durante septiembre – diciembre de 1990. *Bol. Cient. Tecn.* INP. Vol. 11 Nº 1 Smith E. y S.

**Troccoli-Ghinaglia, L., Prado-España M., Cajas-Flores J. & Luzuriaga-Villarreal M. 2016.-** Caracterización ecológica de las comunidades planctónicas a una milla de la zona costera de Esmeraldas – Ecuador *Boletín Especial* 2015, 1:44 (en prensa.)

**Pielou, E. C. 1969.-** Introduction to Mathematical Ecology (1969). Wiley-Interscience, New York.

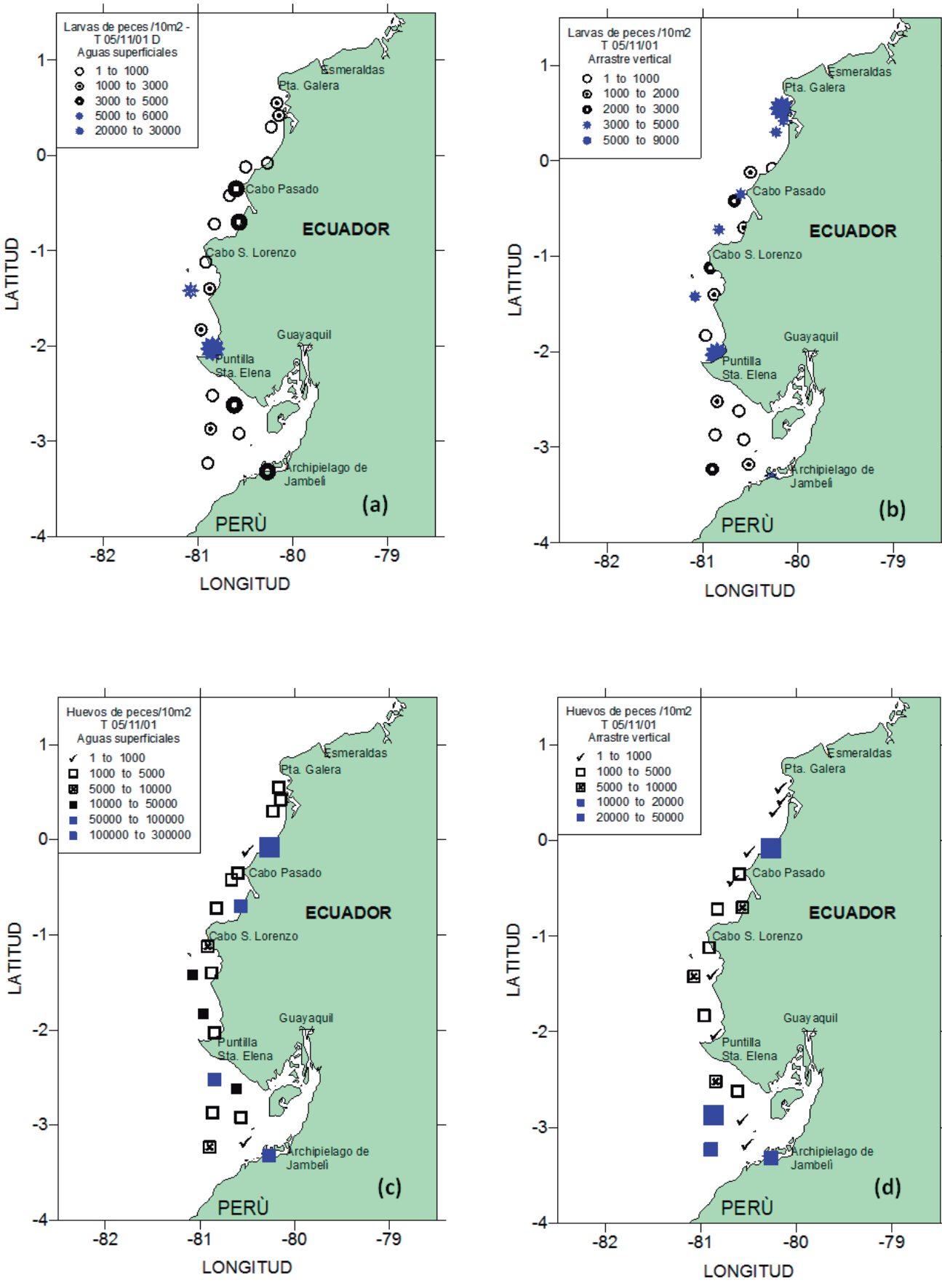



**Figura 7 a-d.** **(a)** Larvas de peces en aguas superficiales; **(b)** larvas de peces en la columna de agua; **(c)** Huevos de peces en aguas superficiales; **(d)** Huevos de peces enla columna de agua durante crucero T 05/11/01 D.

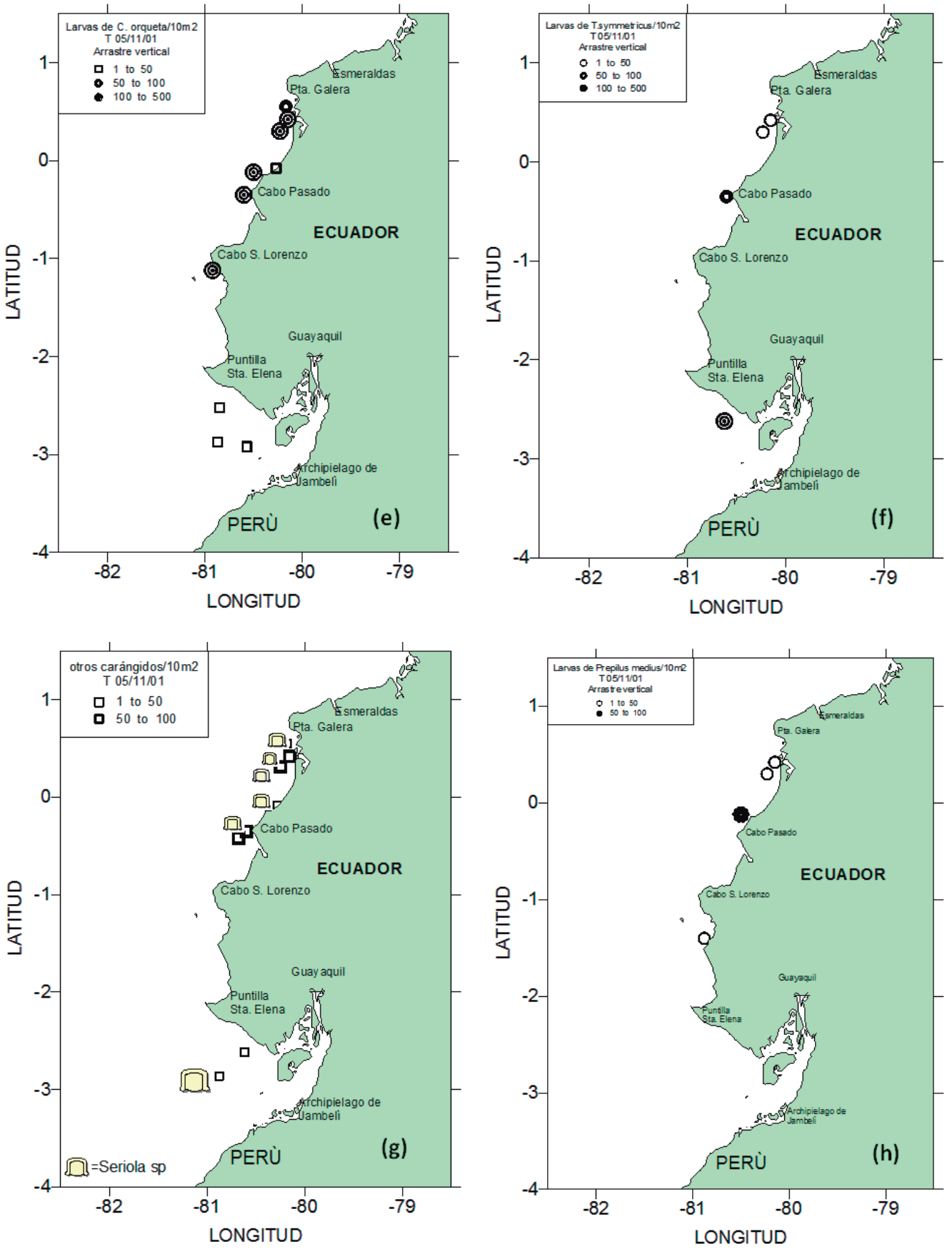



**Figura 7 e-h.** **(e)** larvas de *C. orqueta* ; **(f)** larvas de *T. symmetricus;*
**(g)** larvas de *Seriola* sp. y otros carángidos, **(h)** Larvas de *Prepilus medius* durante crucero
T 05/11/01 D – aguas subsuperficiales-

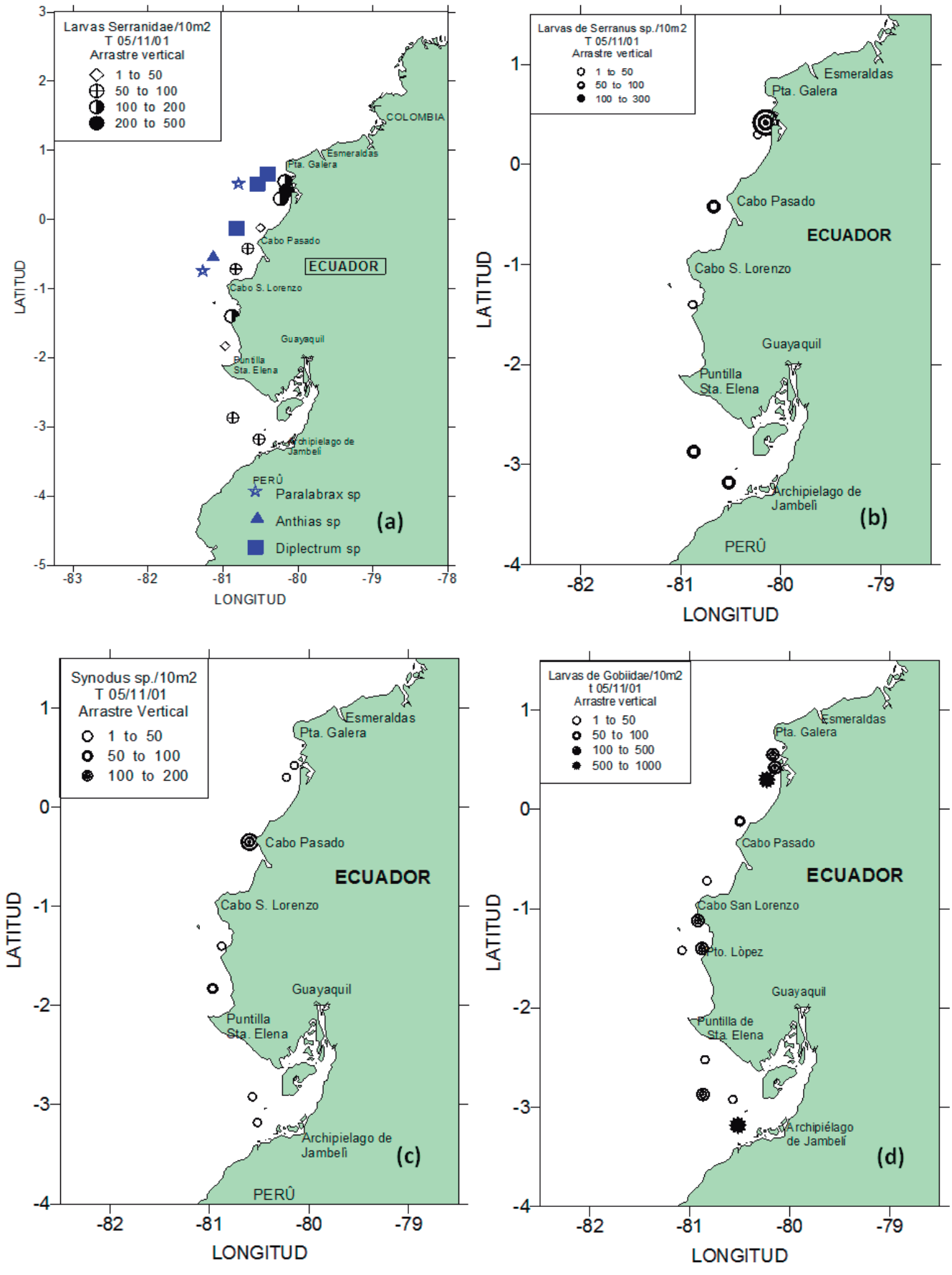



**Figura 8 a-d.** **(a)** Larvas de *Diplectrum* sp., *Anthias*, *Paralabrax* sp.; **(b)** Larvas de *Serranus* sp.; **(c)** Larvas de *Synodus* sp. (huavina); **(d)** Larvas de gobios (Gobiidae); durante crucero T 05/11/01 D. –aguas subsuperficiales-

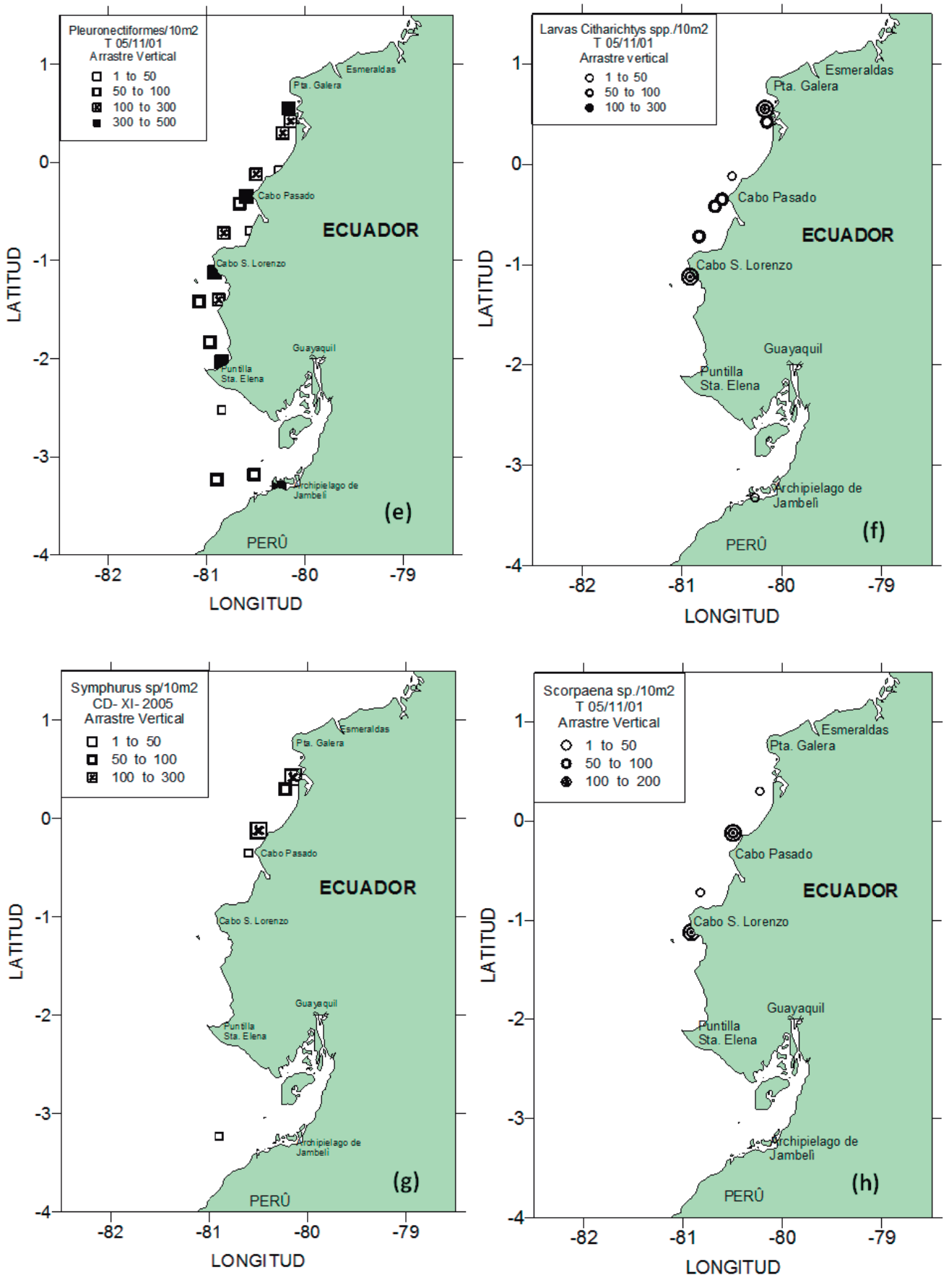



**Figura 8 e-h.** **(e)** Larvas de lenguados (Pleuronectiformes); **(f)** Larvas de *Citharichthys* (lenguado); **(g)** Larvas de *Symphurus* sp.; **(h)** Larvas de *Scorpaena* sp. (brujo) durante crucero T 05/11/01 D. –aguas subsuperficiales-

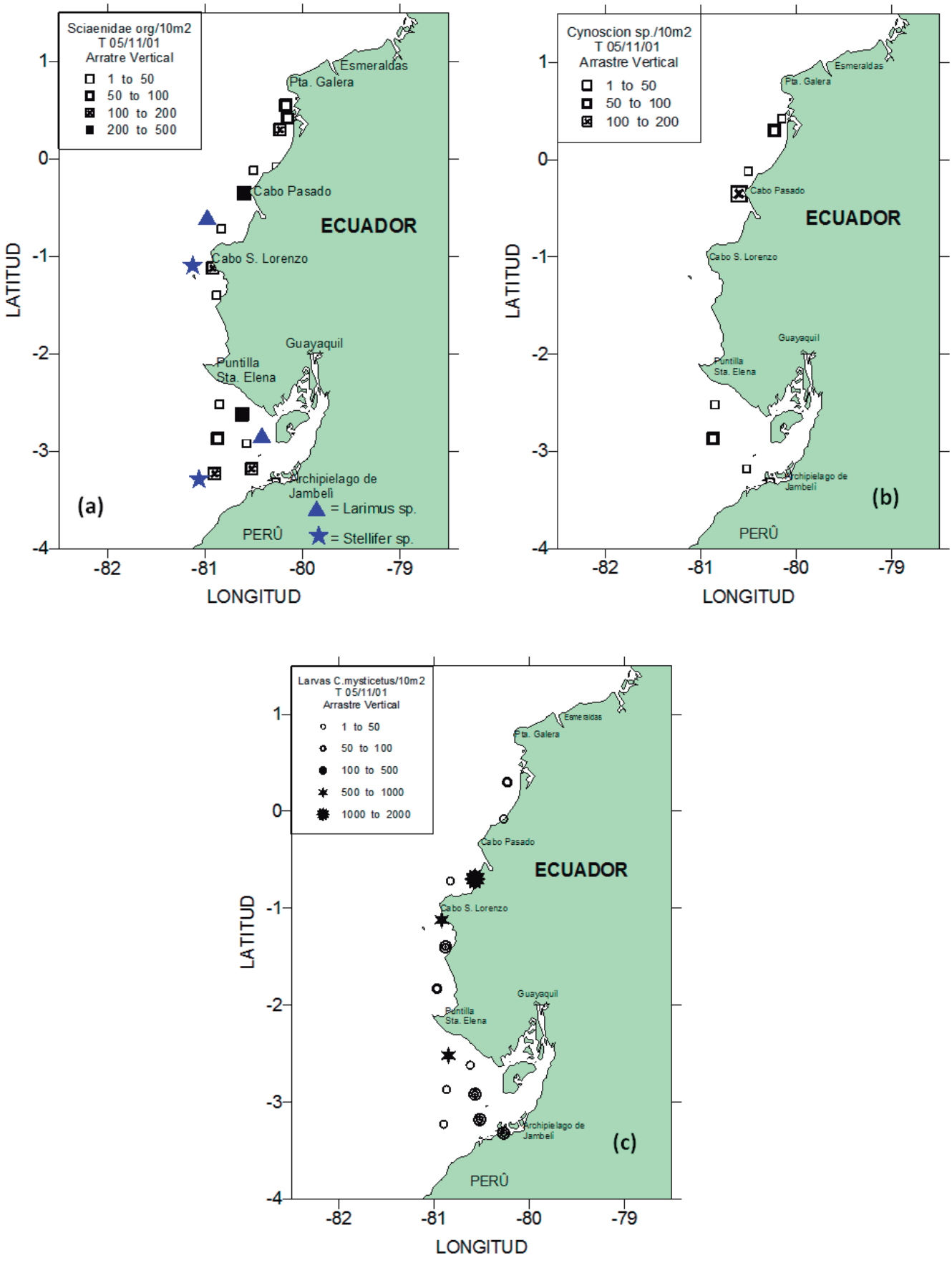



**Figura 9 a-c. (a)** Larvas de Sciànidos: a) *Larimus* sp., *Stellifer* sp. y otros sciánidos; (b) Larvas de *Cynoscion* sp. (corvina); (c) Larvas de *bbb* (chuhueco) durante crucero- T 05/11/01 D.- aguas subsuperficiales-

**Tabla 5.-** Abundancia de larvas de peces en cada Subárea durante T 05/11/01 D

| LANCE VERTICAL | Subárea | Subárea | Subárea | Subárea | | % de cada especie, género, familia | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SUBAREA | A | B | C | D | Total | A | B | C | D | Total |
| **Argentinidae** | | | 35 | | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.1 |
| **Bathylagidae** | | | | | | | | | | |
| *Leuroglossus stilbius* | | | | 35 | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.1 |
| **Bothidae** | | 354 | 35 | 71 | 460 | 0.0 | 2.6 | 0.3 | 0.5 | 0.9 |
| Hipoglossina | | 71 | | | 71 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| **Bregmacerotidae** | | | | | | | | | | |
| *Bregmaceros bathymaster* | | 71 | 1627 | 920 | 2617 | 0.0 | 0.5 | 12.0 | 6.7 | 5.3 |
| **Carangidae** | 35 | | 71 | 106 | 212 | 0.4 | 0.0 | 0.5 | 0.8 | 0.4 |
| *Trachurus symetricus* | 177 | | 71 | 71 | 318 | 2.0 | 0.0 | 0.5 | 0.5 | 0.6 |
| *Chloroscombrus orqueta* | 106 | 106 | 318 | 495 | 1026 | 1.2 | 0.8 | 2.3 | 3.6 | 2.1 |
| Seriola sp | | | | 35 | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.1 |
| *Seriola* cf *lalandi* | 35 | | | | 35 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| Seriola prelarva | | | 106 | 71 | 177 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.5 | 0.4 |
| **Cariistidae** | | | | | | | | | | |
| *Caristius* sp | | | 35 | | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.1 |
| **Clupeidae** | 106 | 177 | 106 | 106 | 495 | 1.2 | 1.3 | 0.8 | 0.8 | 1.0 |
| *Opisthonema* sp | | 106 | 71 | | 177 | 0.0 | 0.8 | 0.5 | 0.0 | 0.4 |
| **Cynoglossidae** | | | | | | | | | | |
| Symphurus spp | 35 | | 141 | 212 | 389 | 0.4 | 0.0 | 1.0 | 1.6 | 0.8 |
| **Engraulidae** | 2440 | 8311 | 71 | 212 | 11035 | 27.0 | 61.7 | 0.5 | 1.5 | 22.2 |
| *Cetengraulis mysticetus* | 1627 | 778 | 1309 | 71 | 3784 | 18.0 | 5.8 | 9.7 | 0.5 | 7.6 |
| *Anchovia* sp | 354 | 35 | | 141 | 531 | 3.9 | 0.3 | 0.0 | 1.0 | 1.1 |
| Anchoa | 1203 | 71 | | | 1273 | 13.3 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 2.6 |
| **Gerridae** | | | | | | | | | | |
| *Gerres* sp | | | | 35 | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.1 |
| Eucinostomus | | 212 | 35 | 106 | 354 | 0.0 | 1.6 | 0.3 | 0.8 | 0.7 |
| **Gobiidae** | 248 | 141 | 35 | 35 | 460 | 2.7 | 1.0 | 0.3 | 0.3 | 0.9 |
| Microgobius | 460 | 106 | 35 | 637 | 1238 | 5.1 | 0.8 | 0.3 | 4.7 | 2.5 |
| Bathygobius | | | | 106 | 106 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.2 |
| Gobius | 106 | | 35 | 283 | 424 | 1.2 | 0.0 | 0.3 | 2.1 | 0.9 |
| Gobiosoma | | 35 | | | 35 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| **Gonostomatidae** | | | | | | | | | | |
| Gonostoma | | | 71 | | 71 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.1 |
| **Haemulidae** | 35 | | | | 35 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| *Pomadasys* sp | | 35 | 35 | | 71 | 0.0 | 0.3 | 0.3 | 0.0 | 0.1 |
| **Melamphaidae** | | | | | | | | | | |
| *Melamphaes* sp | 35 | | | | 35 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| **Mullidae** | | | 35 | | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.1 |
| **Mugilidae** | | | | | | | | | | |
| *Mugil* sp | | | 35 | 35 | 71 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| **Myctophidae** | | | 71 | | 71 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.1 |
| *Diogenichthys laternatus* | | | 35 | | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.1 |
| *Benthosema panamense* | | | 2476 | 566 | 3042 | 0.0 | 0.0 | 18.3 | 4.1 | 6.1 |
| *Diaphus pacificus* | | | 1662 | 460 | 2122 | 0.0 | 0.0 | 12.3 | 3.4 | 4.3 |
| prelarvas cf de myctophidae | | 71 | 1061 | 6720 | 7852 | 0.0 | 0.5 | 7.8 | 49.1 | 15.8 |
| *Lampanyctus* sp | 35 | | | | 35 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| **Ophididae** | | | | 35 | 35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.1 |
| **Pleuronectiformes** | | 354 | | 35 | 389 | 0.0 | 2.6 | 0.0 | 0.3 | 0.8 |
| **Paralichtydae** | 141 | | 177 | 141 | 460 | 1.6 | 0.0 | 1.3 | 1.0 | 0.9 |
| Etropus spp | 71 | | | 35 | 106 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.2 |
| Citharichthys spp | 35 | 106 | 248 | 177 | 566 | 0.4 | 0.8 | 1.8 | 1.3 | 1.1 |
| **Pleuronectidae** | 283 | 531 | 212 | 141 | 1167 | 3.1 | 3.9 | 1.6 | 1.0 | 2.3 |
| **Photichtyidae** | | | | | | | | | | |
| *Vinciguerria lucetia* | | | 106 | | 106 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.2 |
| **Pomatomidae** | | | | | | | | | | |
| *Pomatomus* sp | | 141 | | | 141 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 |

continua.....

**Tabla 5.** continuación …….

| LANCE VERTICAL | Subárea | Subárea | Subárea | Subárea | | % de cada especie, género, familia | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SUBAREA | A | B | C | D | Total | A | B | C | D | Total |
| **Pomacentridae** | | | 35 | | 35 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 |
| **Paralepididae** | 35 | | 35 | | 71 | 0,4 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 |
| **Sciaenidae** | 318 | 35 | 177 | 141 | 672 | 3,5 | 0,3 | 1,3 | 1,0 | 1,4 |
| *Cynoscion* sp | 177 | | 141 | 106 | 424 | 2,0 | 0,0 | 1,0 | 0,8 | 0,9 |
| *Larimus* sp | 35 | | 248 | | 283 | 0,4 | 0,0 | 1,8 | 0,0 | 0,6 |
| *Stellifer* sp | 106 | 106 | | | 212 | 1,2 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |
| **Scorpaenidae** | 0 | 106 | 106 | | 212 | 0,0 | 0,8 | 0,8 | 0,0 | 0,4 |
| *Scorpaena* sp | 0 | 106 | 177 | 35 | 318 | 0,0 | 0,8 | 1,3 | 0,3 | 0,6 |
| *Sebastes* sp | 35 | | | | 35 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| **Scombridae** | | | | | | | | | | |
| *Euthynnus alleteratus* | | | 283 | | 283 | 0,0 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 0,6 |
| **Serranidae** | | 106 | | 212 | 318 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 1,6 | 0,6 |
| *Serranus* sp | 141 | 35 | 71 | 141 | 389 | 1,6 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 0,8 |
| *Paralabrax* sp | | | 35 | 35 | 70 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,1 |
| *Anthias* sp | | | 35 | 0 | 35 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 |
| *Diplectrum* sp | | | 35 | 141 | 177 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 1,0 | 0,4 |
| Serraninae | | | | 35 | 35 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,1 |
| **Stromateidae** | | | | | | | | | | |
| *Prepilus medius* | 35 | | 71 | 71 | 177 | 0,4 | 0,0 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| **Synodontidae** | | | | 35 | 35 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,1 |
| *Synodus* sp | 71 | 106 | 106 | 71 | 354 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,7 |
| *Trachinocephalus myops* | | | 35 | | 35 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 |
| **Triglidae** | | | | | | | | | | |
| *Prionotus stephanophrys* | 71 | | | | 71 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| **Trichiuridae** | | | | | | | | | | |
| *Lepidopus* sp | | | | 35 | 35 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,1 |
| especie A | 35 | 177 | 71 | 35 | 318 | 0,4 | 1,3 | 0,5 | 0,3 | 0,6 |
| prelarvas indetermin>clupeiformes | | | 778 | | 778 | 0,0 | 0,0 | 5,7 | 0,0 | 1,6 |
| prelarvas | 106 | | 389 | 283 | 778 | 1,2 | 0,0 | 2,9 | 2,1 | 1,6 |
| dañado | | 106 | | | 106 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |
| indeterminado | 318 | 778 | 354 | 212 | 1662 | 3,5 | 5,8 | 2,6 | 1,6 | 3,3 |
| Total | 9054 | 13475 | 13546 | 13687 | 49762 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| % | 18 | 27 | 27 | 28 | 100 | | | | | |

**Tabla 6.-** Correlación (r) entre larvas de peces y parámetros bióticos y abióticos – Mayor abundancia de larvas en Subárea D – T 05/11/01 D n=21 P=5%

| Larvas con > abundancia en SUBÁREA D | T°C 0m | T°C 10m | T°C 20m | T°C 30m | NO3 0m | PO4 0m | SiO4 0m | O2. 0m | NO2 30m | Diatomeas 30m | Dinoflag 0m | Dinoflag 30 m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Chloroscombrus orqueta* | | 0.56 | 0.51 | | | 0.64 | 0.79 | 0.44 | 0.53 | 0.88 | | 0.55 |
| *Citharichthys* sp | 0.50 | 0.56 | 0.56 | 0.48 | | 0.51 | 0.42 | | | | | |
| *Symphurus* spp | | 0.52 | 0.50 | | | 0.58 | 0.81 | 0.47 | 0.50 | 0.84 | 0.41 | 0.78 |
| Gobius | 0.54 | | | | | 0.40 | | | | 0.57 | | 0.45 |
| Microgobius prelarvas cf de myctophidae | 0.55 | | | | | | | | | | | |
| *Serranus* sp | | | | | 0.68 | | | | | | | |
| *Diplectrum* sp | | 0.48 | 0.44 | | 0.49 | 0.53 | 0.69 | 0.46 | 0.46 | 0.63 | | 0.54 |
| *Paralabrax* sp | | | | | | | 0.43 | | 0.57 | | | 0.67 |
| Serranidae | 0.60 | 0.50 | | | 0.50 | | 0.50 | 0.40 | | 0.60 | 0.60 | |
| Carangidae | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.50 | | 0.60 | 0.60 | | 0.60 | 0.80 | 0.50 | |

**Tabla 7.-** Correlación (r) entre larvas de peces y parámetros bióticos y abióticos – Mayor abundancia en Subárea C – T 05/11/01 D n=21 P= 5%

| Larvas con > abundancia en SUBÁREA C | T°C 0m | T°C 10m | T°C 20m | T°C 50m | So/oo 50m | NO3 0m | PO4 0m | SiO4 0m | NO2 30m | NO3 30m | PO4 30m | SiO4 30m | O2 30m | Diatom 30m | Dinoflag 0m | Dinoflag 30m | Copèpod vertical |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Benthosema panamense* | | 0.46 | 0.52 | | | 0.47 | 0.42 | | | | | | | | | | |
| *Bregmaceros bathymaster* | 0.46 | 0.48 | 0.48 | | | | 0.42 | | 0.50 | | | | | | | | |
| *Cetengraulis mysticetus* | | | | 0.93 | | | | | | | | | | | 0.59 | | |
| *Cynoscion* sp | | | | | | | | | | | | | | 0.70 | | | |
| *Diaphus pacificus* | | | | | | | | | | | | | | | | 0.57 | |
| *Euthynnus alleteratus* | | | | | | | | | | | | | | 0.41 | | | |
| *Pomadasys* sp | | | | | | | | | | 0.57 | 0.54 | 0.57 | -0.55 | | | | 0.60 |
| prelarvas indet. >clupeiformes | | | | | | | | | | | | | | 0.41 | | | |
| *Prepilus medius* | | | | | | | | | | | | | | 0.49 | | 0.47 | |
| *Scorpaena* sp | | | | | | | | 0.50 | | | | | | | | 0.50 | |
| Scorpaenidae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Synodus* spp | | | | | | | | | | | | | | 0.41 | | 0.46 | |

**Tabla 8.-** Correlación (r) entre larvas de peces y parámetros bióticos y abióticos – Mayor abundancia de larvas en Subárea B – T 05/11/01 D n=21 P=5%

| Larvas con > abundancia en SUBÁREA B | T°C 10m | NO2 0m | SiO4 0m | Oxig. 0m | Diatomeas 30m | G.menardii Superficial | G.menardii Vertical |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| especie A | | | | | | | |
| *Eucinostomus* sp | | | 0.62 | | | 0.59 | |
| Gerridae | | | 0.70 | | | 0.50 | |
| Pleuronectiformes | 0.46 | 0.42 | 0.46 | 0.40 | 0.45 | | 0.45 |
| *Pomatomus* sp | | | | | | 0.79 | |

**Tabla 9.-** Correlación (r) entre larvas de peces y parámetros bióticos y abióticos – Mayor abundancia de larvas en Subárea A – T 05/11/01 D n=21 (con salinidad n=8) P=5%

| Larvas con > abundancia en SUBÁREA A | T°C 30 | T°C 50m | So/oo 0m | So/oo 10m | So/oo 20m | So/oo 30m | So/oo 50m | NO2 0m | NO3 0m | PO4 0m | SiO4 0m | NO2 30m | NO3 30m | PO4 30m | SiO4 30m | O2 30m | Diatom 30m | Dinoflag 30m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Clupeidae | | | -0.84 | -0.80 | -0.94 | -0.89 | -0.95 | | | | | | | | | | | |
| Engraulidae | | | -0.68 | -0.69 | -0.69 | -0.75 | | | | | | | | | | | | |
| Anchoa | -0.699 | | | | | | | 0.832 | | | | | 0.697 | 0.635 | 0.758 | -0.713 | | |
| *Anchovia* sp | | | | | | | -0.947 | 0.914 | | | | | | | | | | |
| *Cetengraulis mysticetus* | | | | | | | -0.95 | | | | | | | | | | | |
| *Etropus* sp | | 0.922 | | | | | -0.947 | | 0.573 | 0.405 | 0.655 | 0.502 | | | | | 0.49239 | 0.46098 |
| Haemulidae | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Microgobius | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pleironectiformes | | | | | | -0.74 | | | | | | | | | | | | |
| Sciaenidae | | | | | | 0.927 | 0.981 | | | | | 0.604 | | | | | | |
| *Stellifer* sp | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

# MOLUSCOS SUBMAREALES DE LA COSTA ECUATORIANA DURANTE LA PROSPECION SISMICA, DICIEMBRE 2008

Manuel Cruz P. [1]


## *RESUMEN*

*Con la finalidad de conocer la macrofauna bentónica submareal ecuatoriana de la plataforma continental, para tener una información básica durante la prospección sísmica, se estimaron 28 estaciones distribuidas en siete perfiles perpendiculares a la costa, en cada perfil 4 estaciones a 20, 30, 40 y 50 metros de profundidad, que se localizaron en Esmeraldas y Muisne (Región norte), Bahía de Caráquez y Puerto López (Región central), Anconcito y Puerto Bolívar (Región sur) y en los alrededores de la Isla La Plata (Región central), que no constituyó un perfil por ser una isla. Se encontraron 29 especies de moluscos, 11 bivalvos, 14 gasterópodos, 1 escafópodo, 1 poliplacóforo, 1 aplacóforo y 1 cefalópodo. De los arrastres bentónicos realizados con una red biológica con un ojo de malla de una pulgada, se recolectaron 23 especies, representados por las cinco clases de moluscos, predominando los gasterópodos con el 48%, mientras que con la draga tipo Van Veen, se recolectaron tres clases: Predominando los bivalvos sobre los gasterópodos y escafópodos. En la región norte (Esmeraldas y Muisne), la mayor riqueza de especies se encontró frente a Esmeraldas a 50 metros de profundidad; en la región central la riqueza disminuyó, pero fue el único sitio donde se observó al escafopodo Fustiaria sp.; en la region sur, se observó la mayor riqueza de especies frente a Anconcito en la estación 17 a 50 metros de profundidad, en esta región fue la única que se encontró al poliplacóforo Ceratozona cf. angusta En los alrededores de la isla de La Plata, se encontró en la estación 25 a 50 metros de profundidad, tres especies de moluscos.*


***Palabras Claves:*** *Moluscos, submareal, Ecuador, sísmica, bentos*


## *ABSTRACT*

*In order to know the benthic macrofauna subtidal Ecuadorian of the continental shelf, to have a basic information during seismic prospecting; were estimated 28 stations distributed in seven transects perpendicular to the coast, within each transects 4 stations to 20, 30, 40 and 50 meters of depth, which is located in Esmeraldas and Muisne (Northern Region), Bahía de Caráquez and Puerto López (central Region), Anconcito and Puerto Bolívar (South Region) and in the around of the "La Plata" Island (central Region), which did not constitute a transect by being an island. Found 29 species of mollusks: 11 Bivalves, 14 gastropods, 1 scafopod, 1 polyplacophora, 1 aplacophora and 1 cephalopod. Benthic trawls with a biological network with a one inch mesh eye, were collected 23 species, represented by the five class of mollusks, predominantly gastropods with 48%, while with the dredge type Van Veen, were collected three class: predominating the bivalve, gastropods and scaphopod. In the northern region (Esmeraldas and Muisne), greater species richness was found offshore Esmeraldas to 50 meters of depth; in the central region the richness decreased, but it was the only place where it was observed at the scaphopod Fustiaria sp.; in the southern region, was the greatest richness of species, offshore Anconcito in station 17 to 50 meters of depth, in this region was the only one, that found the polyplacophora Ceratozona cf. angusta on around of "La Plata" Island, is found three species of mollusk, in the station 25 to 50 meters deep.*


***Keywords:*** *Mollusks, subtidal, Ecuador, seismic, benthos*

[1]Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador
[1]Proyecto índices ENOS. Instituto Oceanográfico de la INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5949 Guayaquil-Ecuador

## INTRODUCCIÓN

La prospección sísmica produce efectos negativos en los ecosistemas terrestres (1) y en los marinos, con énfasis en los aspectos físicos, fisiológicos y de comportamiento principalmente en el estadío de huevo de los invertebrados, y a los mamíferos marinos y peces adultos.

La mayor parte de las exploraciones de hidrocarburos en el mar se realiza a través de métodos geofísicos de prospección sísmica de reflexión (2). Estos métodos consisten en la emisión y después la captura de ondas acústicas desde instrumentos remolcados por un barco. Las ondas emitidas viajan a través del agua, inciden al fondo marino y son reflejadas desde las diversas capas subterráneas hacia la superficie, donde el barco captura, registra e interpreta los datos (2).

Con la finalidad de definir la fecha más recomendable para desarrollar el proyecto sobre Prospección Sísmica, en la Plataforma Continental del Ecuador, un grupo de expertos del Dpto. de Ciencias del Mar del INOCAR, realizaron el E.I.A en los aspectos biológicos más importantes, y los grupos de organismos que mayormente pudieran ser afectados en el desarrollo del proyecto.

Se analizó la época en que existe el menor número de mamíferos marinos frente a la costa de Ecuador, que coincide con la época de menor intensidad de los afloramientos producidos por el Ecosistema de Humboldt y que influyen en la productividad que hay en la costa ecuatoriana y alrededor de la isla de La Plata, esta isla, es área protegida, y se encuentra dentro del Parque Nacional Machalilla (PNM), por lo que se recomendó ampliar la distancia de protección de 10 km a 15 km, para minimizar los efectos de la prospección sísmica a la biodiversidad de este ecosistema marino insular.

Para poder determinar la fecha en que existe la menor productividad del mar, la menor biomasa planctónica del fitoplancton y zooplancton que coincida con la existencia del menor número de peces, y poder minimizar el daño a estos recursos, se consideró también la época de reproducción del camarón en su medio natural y los meses cuando ocurren sus mayores migraciones de las especies al ecosistema del manglar, así como la época de reclutamiento a las zonas de pesca.

Se consideró también la época de turismo y sus efectos económicos. Con todas estas consideraciones y muchas otras más, se determinó que la fecha más recomendable y apropiada para realizar la prospección sísmica eran los meses de diciembre y enero.

El propósito del presente trabajo es dar a conocer el estado actual de los moluscos submareales entre los 10 y 50 metros de profundidad frente a la costa del Ecuador.

## ANTECEDENTES

Con la finalidad de buscar nuevos yacimientos de petróleo y gas en la Plataforma continental del país, ha permitido que Petroproducción, filial de Petroecuador, realice estudios de prospección sísmica 2D (dimensional), para determinar si las reservas del hidrocarburo es rentable o no (Lucero, M. y J. Espinoza 2010 – 2011).

En el Ecuador, las investigaciones sobre la relación entre la prospección sísmica y los efectos en los recursos marinos, es escasa, Tapia, M. (2013) encontró que durante la prospección sísmica que se realizaba en diciembre del 2008 en el Ecuador, “Las diatomeas fueron dominantes y en menor

concentración se observaron los dinoflagelados, coccolitofóridos, silicoflagelados, cianobacterias y tintinnidos", se observó en el transepto 4 de la Región Central, un total de 84 especies, destacándose la especie de Diatomeas como *Rhizosolenia stolterfothii*, y los dinoflagelados *Gonyaulax polyedra* y *Goniodoma polyedricum*. propios de la región costera.

## AREA DE ESTUDIO

Comprende la Plataforma continental ecuatoriana, desde el límite con Colombia al norte, hasta el límite con el Perú por el sur, está influenciada por dos épocas en el año: La época húmeda o lluviosa entre enero a abril y la época seca o no lluviosa entre mayo a diciembre.

En la época lluviosa, debido a la inclinación de la tierra, sol calienta un mayor número de horas el Hemisferio sur, por lo que los días son más largos que las noches, y el hemisferio sur está más caliente que el Hemisferio norte, por lo que los vientos alisios del norte soplan con más fuerza que los vientos alisios del sur, esto influye que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y las Aguas Tropicales Superficiales (ATS), con una temperatura >25ºC y una salinidad < 33.0 ups, se desplacen hacia el Ecuador, acoplándose con la atmosfera y se produzcan las precipitaciones que caracterizan la época lluviosa o invierno.

De mayo a diciembre es la época seca o Verano, los vientos alisios del sur comienzan a fortalecerse y el ecosistema de la Corriente de Humboldt denominada Aguas Costeras Peruanas (ACP), o Aguas Costeras de Humboldt (ACH), con temperatura <21º y una salinidad >34,9 ups (Enfield, 1976) se localicen en la costa ecuatoriana, creando condiciones ideales para que las ballenas lleguen al Ecuador a reproducirse y quedarse hasta el mes de noviembre aproximadamente.

Durante el mes de diciembre es raro encontrar ballenas frente a la costa Ecuatoriana, es un mes de transición, que no hay mucho turismo y no comienza la época de reproducción de la mayoría de los invertebrados marinos, razón por la que se determinó que en diciembre se realizará la prospección sísmica y causar el mínimo impacto a la fauna marina.

En la costa del Ecuador se encuentran seis áreas marinas protegidas: La Reserva Ecológica "Cayapas–Mataje", la Reserva Marina "Galera-San Francisco", El Refugio de vida silvestre "Manglares del rio Muisne", Refugio de vida silvestre "Isla y Corazón y Fragatas", "Parque Nacional Machalilla", Reserva de Producción faunística Marino Costera "Punta de Santa Elena", por lo que se determinó una distancia prudencial de diez kilómetros para que se realice la prospección sísmica en la Plataforma Continental del Ecuador (Figura 1)

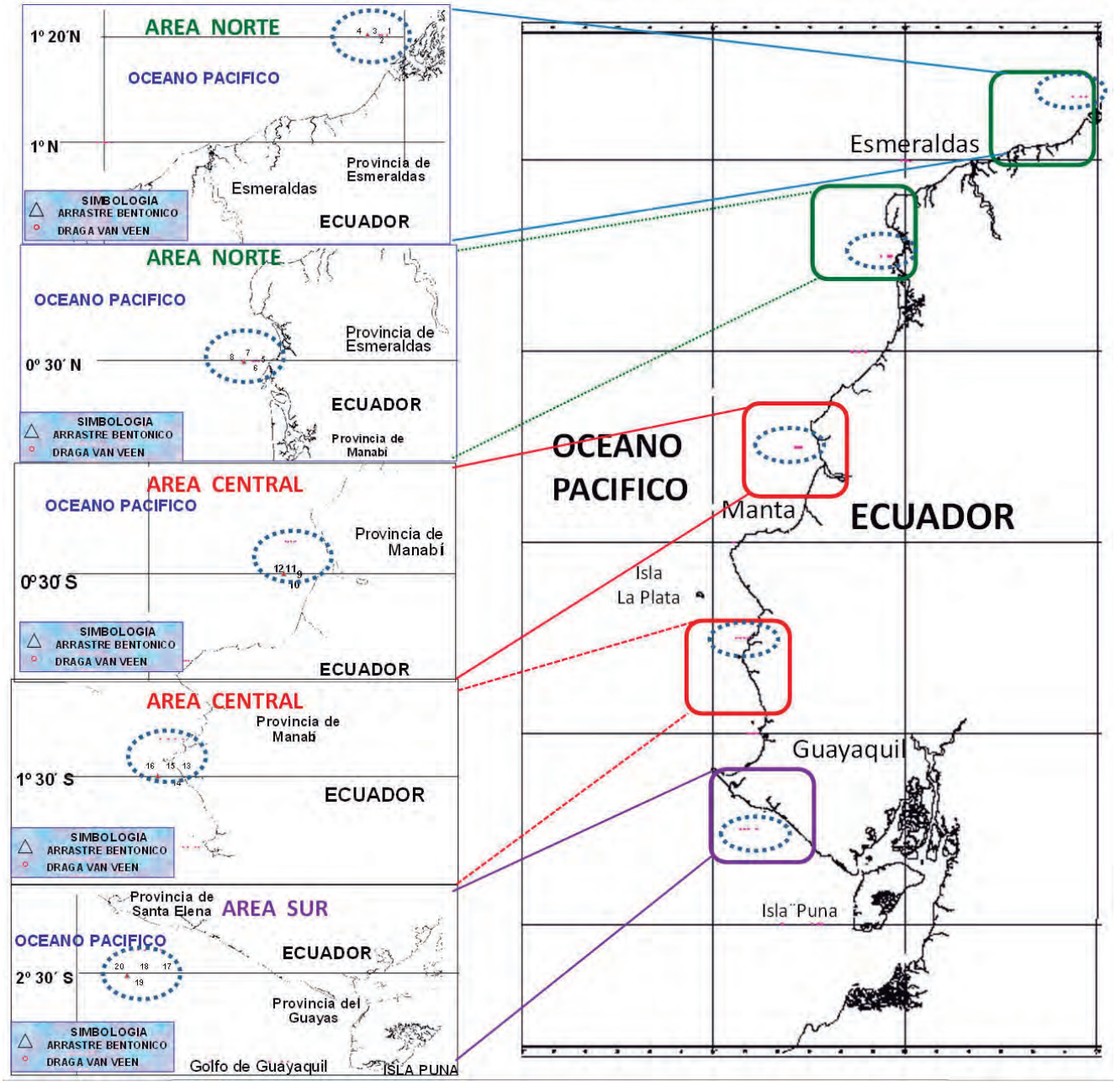



**Figura 1.-** Posición de las estaciones en la costa Ecuatoriana

En la isla de “La Plata”, que forma parte del Parque Nacional Machalilla, se determinó que se amplíe la distancia de 10 a 15 Km lejos de la costa, para proteger la fauna marina del área protegida.

Se determinó que en el Golfo de Guayaquil, también se realicen los trabajos de prospección sísmica lejos de la Isla Santa Clara, frente al Canal de Jambeli, para evitar los efectos a los recursos de la pesca artesanal (Figura 1a)

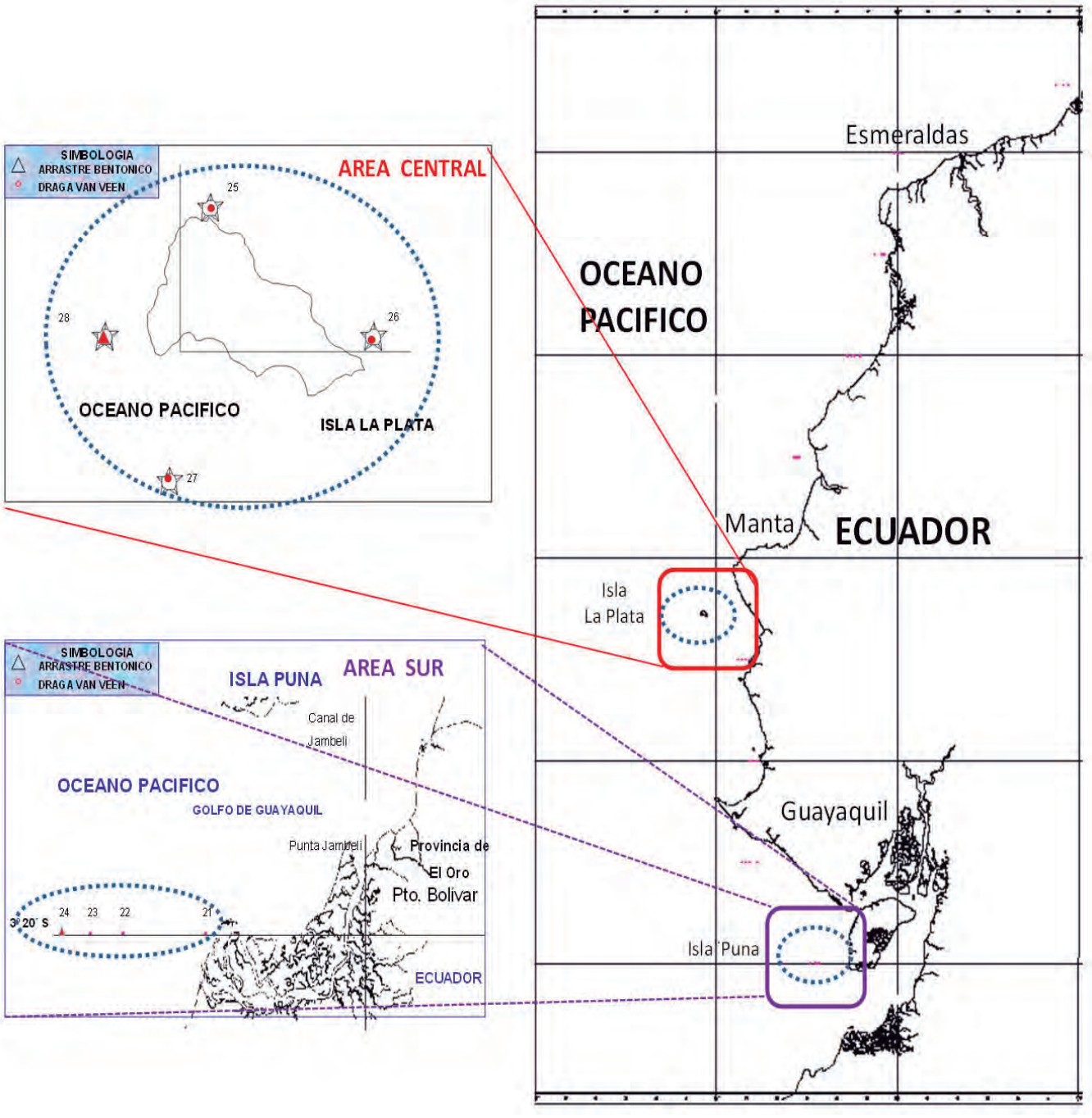



**Figura 1a.-** Posición de las estaciones, alrededor de la Isla La Plata y en el Golfo de Guayaquil

## METODOLOGIA

Para el estudio del Macrobentos submareal de la costa ecuatoriana, la metodología empleada fue de campo y de Laboratorio.

## METODOLOGÍA DE CAMPO

Para el análisis de la fauna bentónica submareal del área de la costa ecuatoriana se estimaron 28 estaciones distribuidas en siete perfiles perpendiculares a la costa, localizados en:

Esmeraldas, Muisne (Región norte), Bahía de Caráquez, Puerto López (Región central), Anconcito, Puerto Bolívar (Región sur) y la isla de La Plata (Región central), que se la estudió sola por ser una isla.

En cada una de las estaciones del crucero costero planificado a bordo de la LAE "RIGEL" de la Armada del Ecuador, se obtuvieron muestras del fondo marino, utilizando una draga tipo Van Veen.

La draga Van Veen, fue lanzada a 20, 30, 40 y 50 metros de profundidad, utilizando una polea y un cabo de nylon de 0,5 pulgada de diámetro.

Para el estudio cuantitativo de los macro invertebrados se utilizó todo el contenido de la draga, que tiene una superficie de muestreo de 1/20 m2., mientras que para los estudios cualitativos se realizaron arrastres bentónicos con una red biológica de arrastre bentónico, con un ojo de malla de una pulgada, durante 10 minutos a una velocidad de 2 nudos por hora.

Para la separación de los organismos pequeños y frágiles de los pesados y duros, la muestra de sedimento obtenida fue "lavada" a bordo de la LAE RIGEL utilizando una gaveta de plástico con un orificio donde se inserta un tubo de 2 pulgadas de diámetro. Con una manguera de jardín y agua de mar se lavó el sedimento y el agua que rebosaba por el tubo fue tamizada con abertura de mallas metálicas de 0.5 mm, 1 mm y 2 mm de diámetro.

Los organismos vivos retenidos en los tamices fueron separados y colocados en frascos de diferentes tamaños para evitar su deterioro orgánico; posteriormente fueron fijados en formol al 5% neutralizado con Borax con pH entre 8 y 8,5. Se utilizó etanol absoluto para fijar los artrópodos y equinodermos. Los frascos fueron rotulados y almacenados para su posterior análisis en el Laboratorio de Biología del INOCAR en la ciudad de Guayaquil.

## METODOLOGÍA DE LABORATORIO

Para la identificación de las especies de moluscos, el sedimento marino con los organismos macrobentónicos fueron nuevamente lavadas con agua en un tamiz metálico de 0.5 mm de abertura de malla; las especies se colocaron en una caja Pettri, fueron teñidas con Rosa de Bengala para reconocer los organismos pequeños y transparentes, se utilizaron estéreomicroscopio y microscopios marca Zeiss de 40 y 100 aumentos respectivamente.

Se utilizó material bibliográfico que contiene claves taxonómicas y algunos textos especializados para identificar las diferentes especies del macrobentos.

La información obtenida se ingresó a una tabla de datos en Excel, se pasó a Lotus, y para realizar las figuras se utilizó el programa Freelance, finalmente copiadas en Power Point y pegados al word

## RESULTADOS

Del muestreo con la draga tipo Van Veen en 28 estaciones entre los 20 y 50 m de profundidad, se observaron solamente en cuatro estaciones, seis especies de moluscos de los cuales cuatro son bivalvos, un gasterópodo y un escafópodo. (Figura 2)

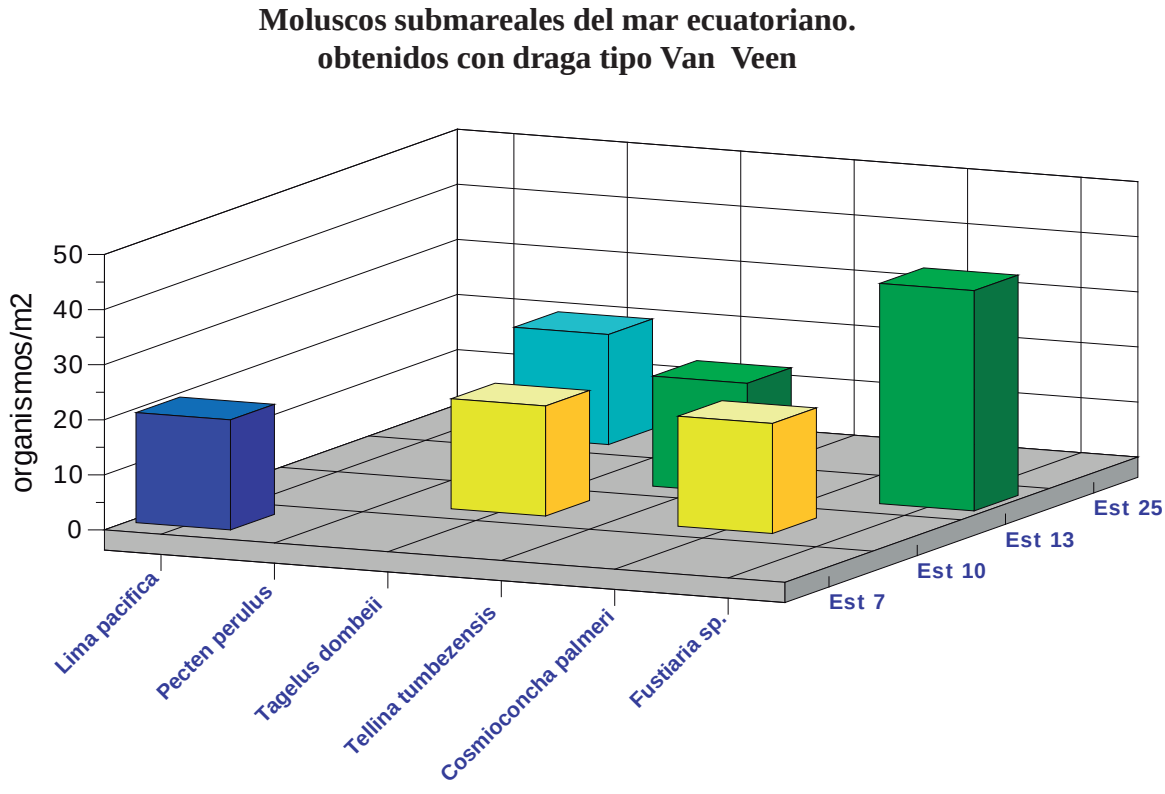



**Figura.- 2** Los moluscos bivalvos presentaron la mayor riqueza de especies y la mayor abundancia relativa se la observó en la estación 13

Se obtuvieron dos escafópodos del género Fustiaria sp, en la estación 13 a 20 m. de profundidad, frente a Puerto López, constituyéndose en la mayor abundancia relativa con el 28,6%, de los moluscos vivos observados (Figura 3)

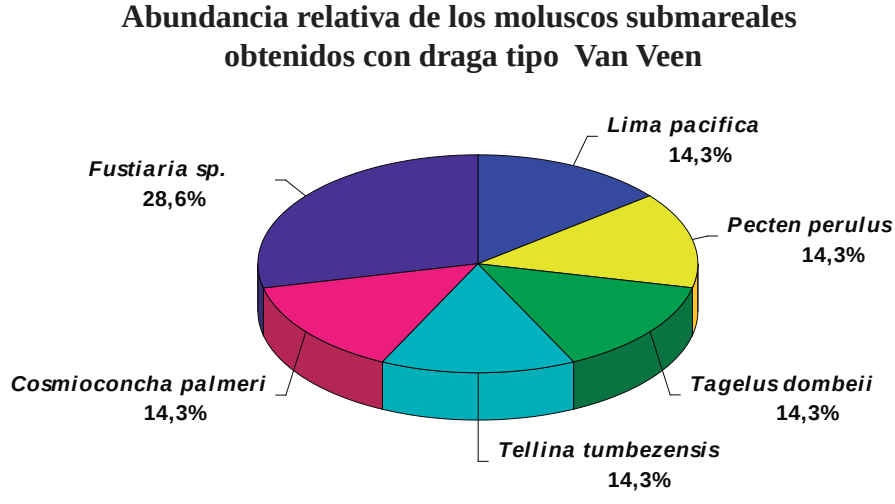



**Figura 3.-** El Escafópodo Fustiaria sp. presentó la mayor abundancia relativa con el 28,6% de los moluscos encontrados

Del muestreo de arrastres bentónicos realizados con una red biológica, se encontraron cinco (5) clases de moluscos: Aplacóforos, Poliplacóforo, Bivalvos, Gasterópodos y Cefalópodos, de los cuales la mayor abundancia relativa la presentaron los gasterópodos con el 56,5% (Figura 4)

**Abundancia relativa de las clases de moluscos obtenidos con la red biológica de arrastre bentónico**

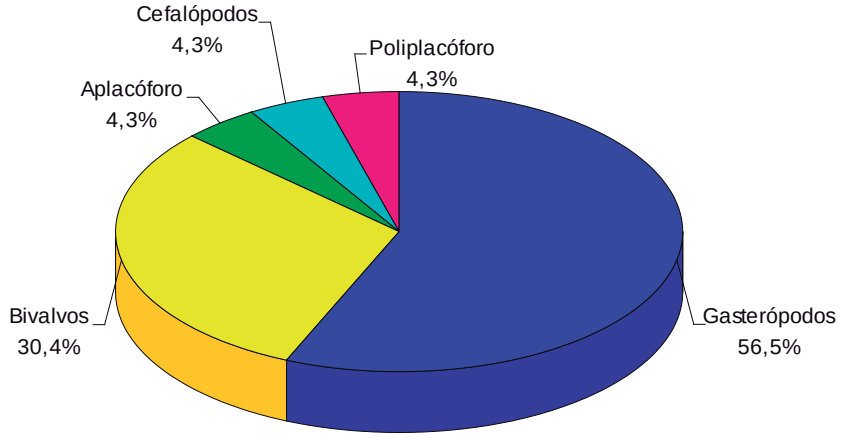



**Figura 4.-** Los gasterópodos con el 56,5% representan la mayor abundancia relativa de los moluscos obtenidos en los arrastres en el fondo marino realizados con una red biológica

Se obtuvo un total de 23 especies de moluscos y bivalvos juveniles con la red de arrastre bentónico, predominando los gasterópodos sobre los bivalvos, aplacóforos, poliplacóforos y cefalópodos. Se observa que frente a Anconcito, en la estación 17 a 20 m de profundidad, se encontró la mayor riqueza de especies de moluscos (Figura 5 )

**Moluscos obtenidos con red biológica de arrastre bentónico**

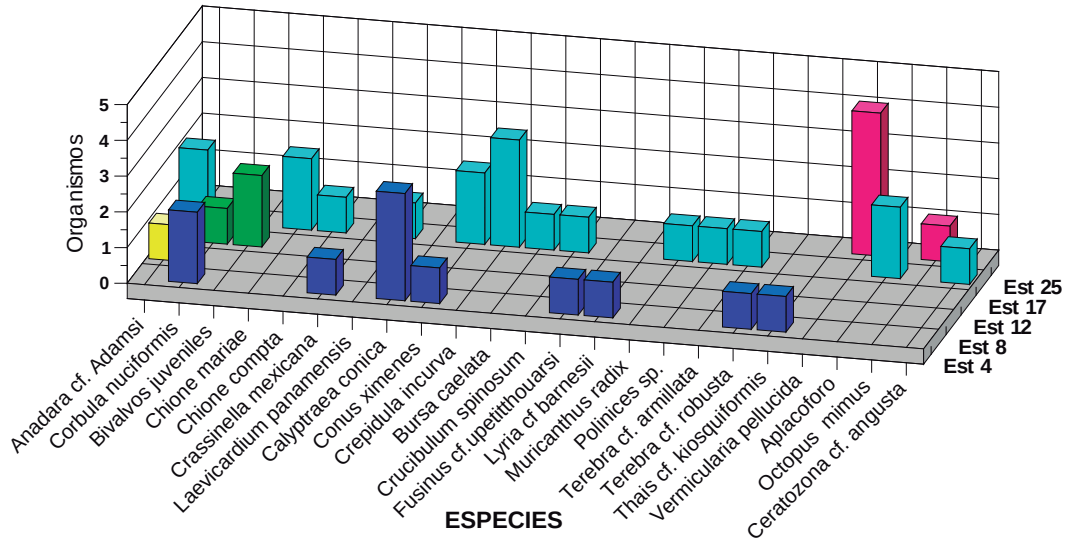



**Figura 5.-** El gasterópodo Vermicularia pellucida en la estación 25 se presentó como la especie más abundante de las 23 especies colectadas

Se observa que con la red de arrastre bentónico, se obtuvo 5 clases de moluscos, mientras que utilizando la draga tipo Van Veen, se observaron tres clases de moluscos y en cada caso las especies son diferentes (Figura 6)

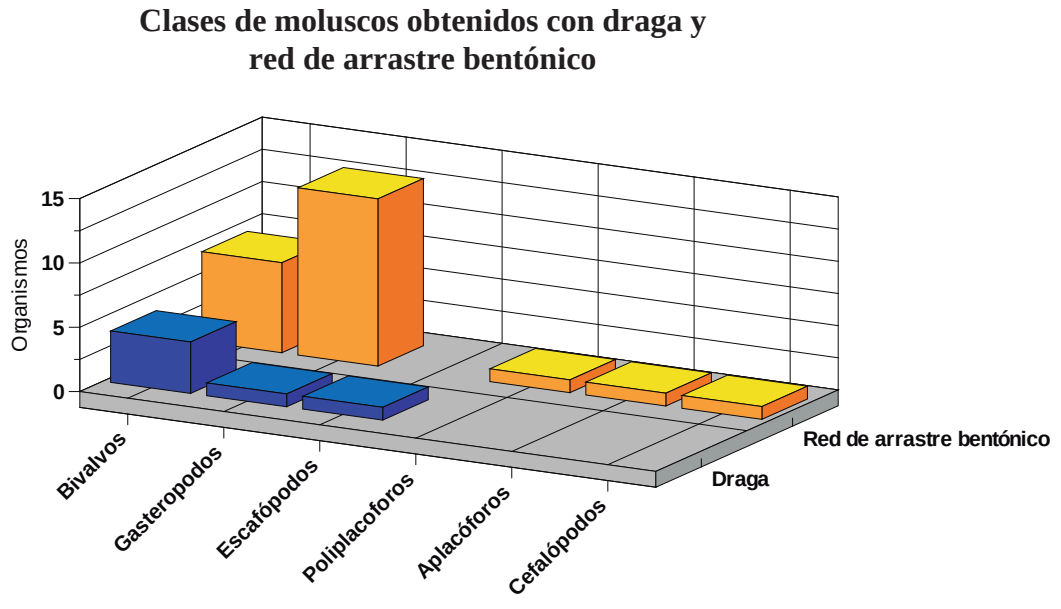



**Figura 6.-** Utilizando una red de arrastre bentónico, se obtiene una mayor abundancia y diversidad de especies de moluscos

En la estación No. 4 a 50 m. de profundidad al norte del país, se observó la mayor diversidad obtenida a 50 m de profundidad con 8 especies, mientras que en la estación 17 a 20 m de profundidad, frente a Anconcito en el Golfo de Guayaquil, se encontró la mayor diversidad de los moluscos bentónicos con 14 especies Figura 7)

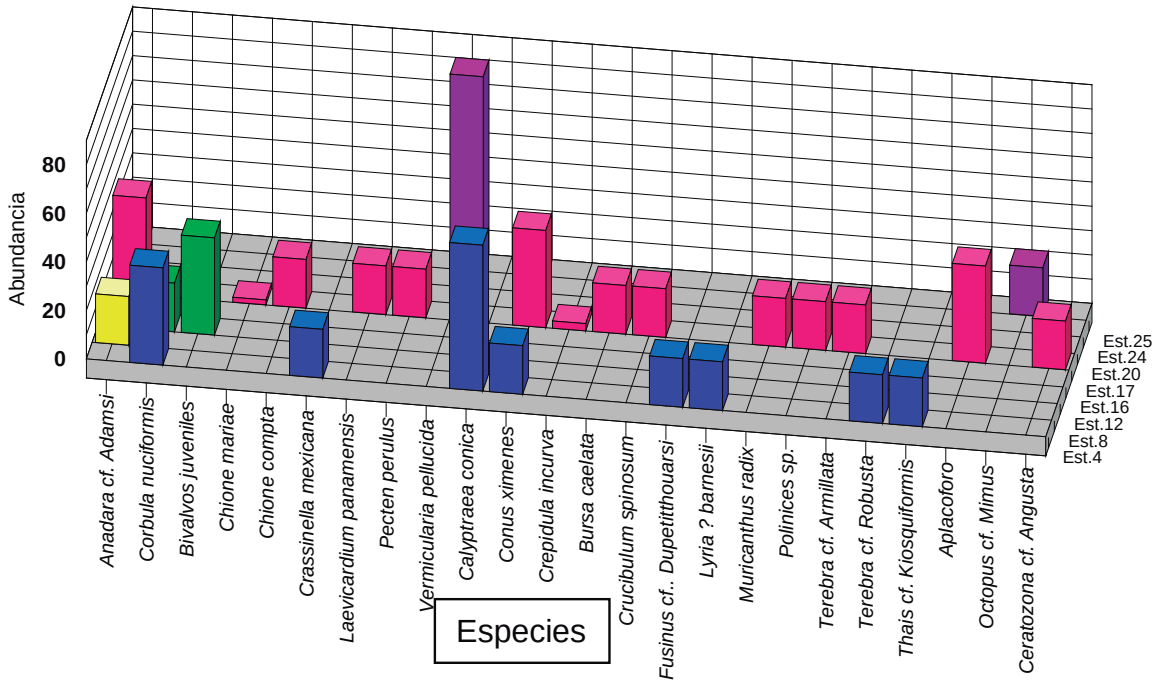



**Figura. 7.-** La mayor abundancia y diversidad de moluscos submareales obtenidos con red de arrastre bentónico se observó en la estación 17.

De lo observado se piensa que la baja diversidad de moluscos a los 50 metros se debe a la actividad de los barcos camaroneros que realizan arrastres a esta profundidad y no a los 20 metros donde se observó la mayor diversidad de especies.

**REGION NORTE.-** En el perfil 1 frente a Esmeraldas con las estaciones: 1,2,3,4, y el perfil 2 frente a Muisne, que incluyen las estaciones 5,6,7,8. Se observó que con la draga tipo Van Veen, solo se obtuvo el bivalvo Lima pacifica en la estación 7 a 40 metros de profundidad frente a Muisne, mientras que con la red Biológica de arrastre bentónico, se obtuvo 9 especies de moluscos bentónicos, tres bivalvos y seis gasterópodos a 50 metros de profundidad. En la estación 4 frente a Esmeraldas se encontró la mayor riqueza de especies (Figura 8)

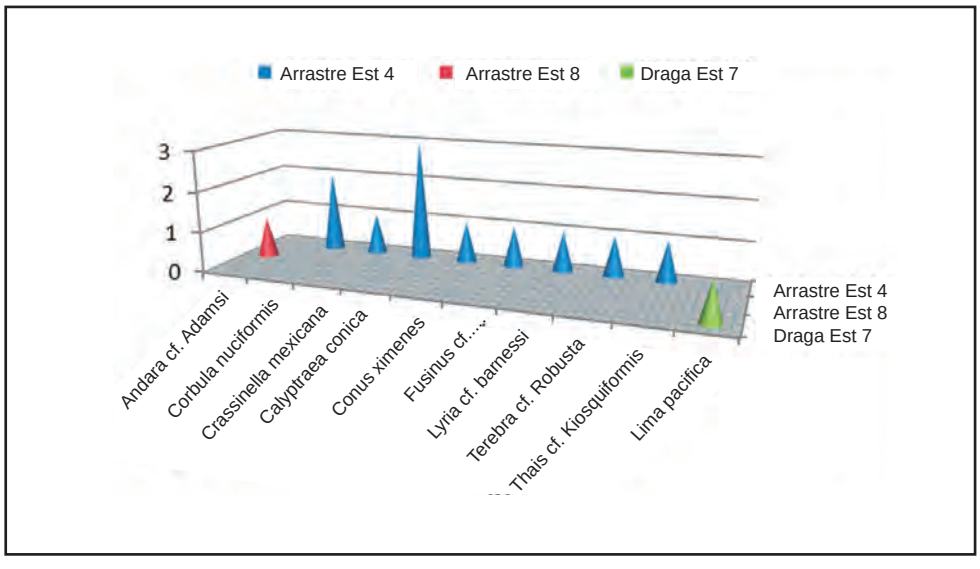



**Figura.-8** Se observa que en la estación 4, frente a Esmeraldas, a 50 metros de profundidad, se observó la mayor riqueza de especies, mientras que en la estación 7 y 8 frente a Muisne, se encontraron dos especies de bivalvos diferentes.

**REGION CENTRAL.-** En el perfil 3, estación 10, frente a Bahía de Caráquez a 20 metros de profundidad se observaron dos especies, el bivalvo Tagelus dombeii y el gasterópodo Cosmioconcha palmeri, mientras que frente a Puerto López en el perfil 4, estación 13 a 20 metros de profundidad se recolectó el bivalvo Tellina tumbezensis y el escafópodo Fustiaria sp.,mientras que con la red biológica de arrastre bentónico a 50 metros de profundidad, se obtuvieron dos bivalvos, Corbula nuciformis y dos juveniles que no fue posible identificarlos por ser muy pequeños (Figura 9)

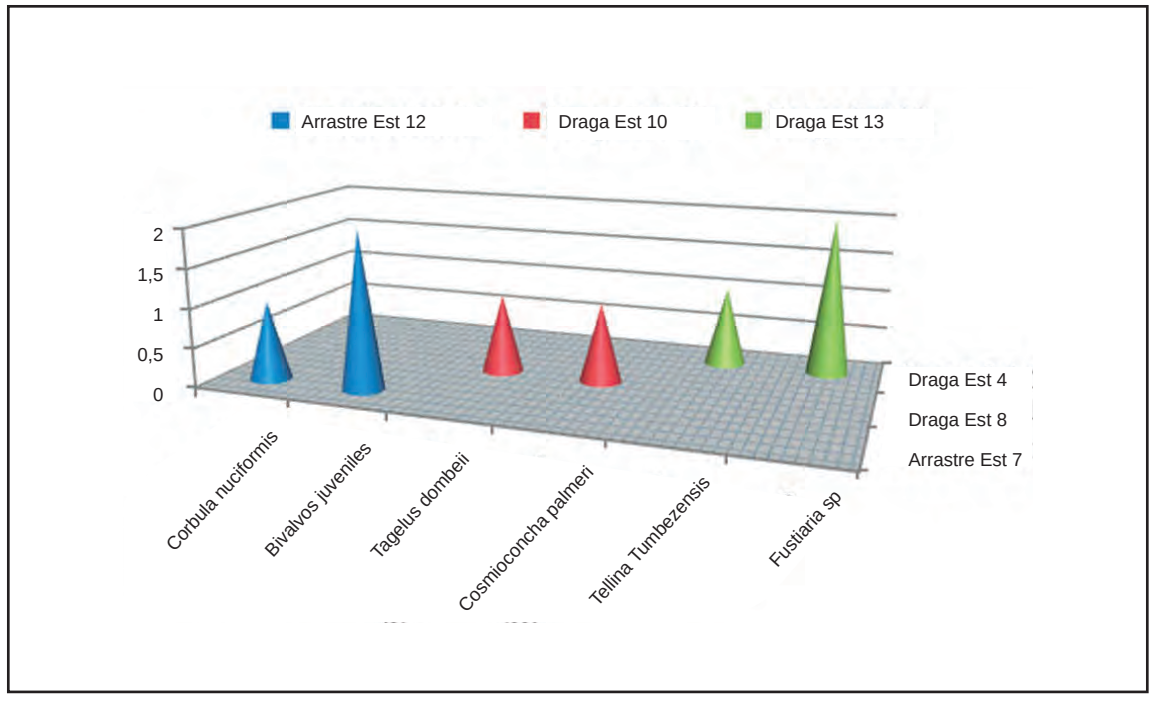



**Figura 9.-** En la región central se observaron seis especies de moluscos siendo los bivalvos los que presentaron la mayor riqueza de especies

**REGION SUR.-** En la estación 17 a 50 metros de profundidad, frente a Anconcito, se observó la mayor riqueza de especies, representados por siete gasterópodos, cinco bivalvos, un poliplacóforo y un aplacoforo (Figura 10). No se observaron especies de moluscos frente a Puerto Bolívar.

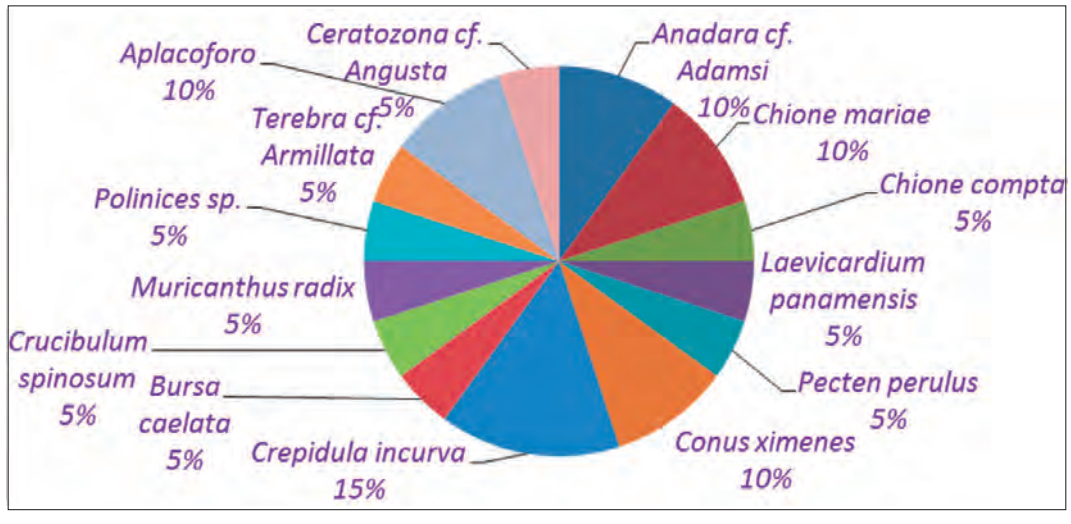



**Figura 10.-** El gasterópodo Crepidula incurva con el 15% fue el más abundante de las 14 especies encontradas a 50 metros de profundidad.

**ISLA DE LA PLATA.-** En la estación 25 a 50 metros de profundidad, se encontró tres especies de moluscos, con la draga tipo Van Veen en el sedimento de fondo se encontró al bivalvo Pecten perulus, mientras que con la red biológica de arrastre bentónico se obtuvo al gasterópodo *Vermicularia pellucida* y al cefalópodo Octopus cf mimus con la mínima presencia (Figura 11)

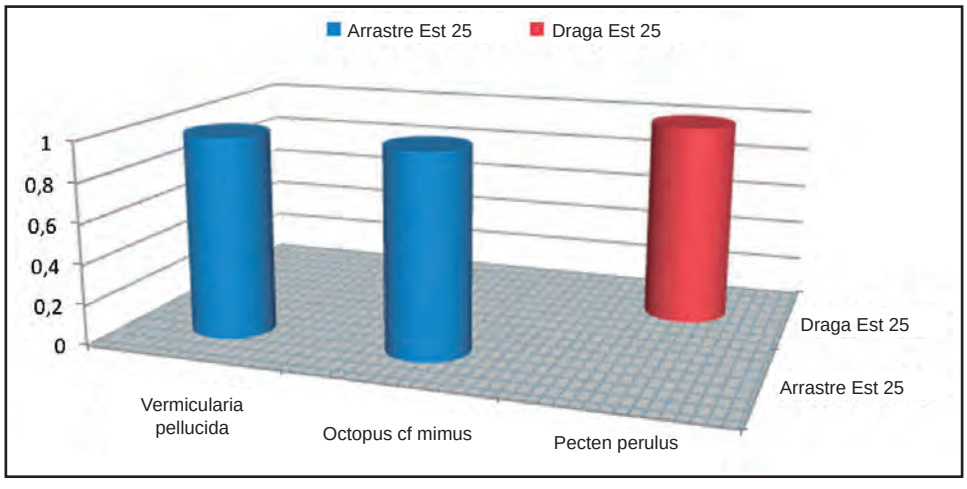



**Figura 11.-** En la Isla de La Plata a 50 metros de profundidad se encontraron tres especies de moluscos.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De las 28 estaciones bentónicas submareales, utilizando la draga Van Veen, se encontró en cuatro estaciones, seis especies de moluscos de los cuales los bivalvos tienen la mayor riqueza de especies, el escafópodo Fustiaria sp. fue el más abundante con el 28,6% en la estación 13 frente a Puerto López y el gasterópodo estuvo con la mínima presencia en la estación 10.

En el arrastre bentónico realizado con la red biológica, se identificaron 23 especies de moluscos y bivalvos juveniles, se observaron cinco grupos de moluscos: Aplacóforos, poliplacóforos, bivalvos, gasterópodos y cefalópodos, de los cuales, los gasterópodos con el 56,5 % es la clase más abundante.

La mayor diversidad de especies de moluscos se encontró en la estación 17 a los 20 m. de profundidad, frente a Anconcito, donde los barcos camaroneros no realizan actividades de arrastre en el fondo marino.

El gasterópodo *Vermicularia pellucida*, se presentó como la especie más abundante en la estación 25 a 50 m. de profundidad.

Con la red biológica de arrastre bentónico se capturó la mayor diversidad y abundancia de moluscos, que con la draga tipo Van Veen.

## BIBLIOGRAFIA

**Bonilla, D. 1967, -** Estudio de la familia MYTILIDAE en aguas ecuatorianas. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. Pp. 1-50

**Brusca, R. 1973.** A handbook to the common intertidal invertebrates of the Gulf of California.

The University of Arizona Press:1- 427.

**Cruz, M. 1977.** Bivalvos de la Plataforma Continental de la Región Norte de Ecuador. Instituto Oceanográfico de la Armada. Guayaquil- Ecuador, 1(1): 1-55

**Cruz, M. 1983.-** Bivalvos del Golfo de Guayaquil. ACTA OCEANOGRAFICA DEL PACIFICO. Vol. 2, No. 2

**Cruz, M. y F. Villamar. (1983).-** Presencia de *Platasteria latirradiata* en Aguas Ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR. Guayaquil- Ecuador, 2(1): 169 – 177.

**Cruz, M.-1992.-** Estado actual del recurso malacológico (Bivalvos y Gasterópodos) de la zona Infralitoral del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR. Guayaquil- Ecuador, 7(1): 41 – 68.

**Cruz, M., N. Gaibor, E. Mora, R. Jiménez & J. Mair. 2003.-** Lo conocido y desconocido de la biodiversidad marina en el Ecuador (Continental e insular). GAYANA (Universidad de Concepción). Vol. 67, No. 2, pp. 232 – 260.

**Cruz, M., 2010-2011.-** La prospección sísmica costera 2D en el mar ecuatoriano, las investigaciones realizadas para minimizar sus impactos. Vol. 16, No. 1, pp. 153 – 159.

**Lucero, M. y Jorge Espinoza 2010-2011.-** Los estudios ambientales y la exploración sísmica en el mar territorial ecuatoriano. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol.16, No.1, pp: 145-151.

**Mair, James., E. Mora y M. Cruz. 2002.-**
Manual de campo de los Invertebrados Bentónicos marinos: Moluscos, Crustáceos y Equinodermos de la zona Litoral Ecuatoriana. Universidad Estatal de Guayaquil y Heriot-Watt University. pp.: 1 – 108.

**Roger J., Lincoln & J. Gordon Sheals. 1979.-**
Invertebrate Animals. Collection and Preservation. British Museum (Natural History) Cambridge University Press. Printed in Great Britain by Butler & Tanner Ltd. Frome and London. 1 – 150 p.

**Ruiz, V., L. Dominguez, J. Marin-Jarrin y S. Miño. 2005.-** Guía de la Fauna Intermareal de las playas arenosas del Ecuador. ESPOL. CICYT, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar : 91 p.

**Tapia, M. 2013.-** Composición y distribución del fitoplancton durante la prospección sísmica en la costa ecuatoriana, diciembre de 2008. Acta Oceanográfica del Pacífico. 18 (1): 75 – 89.

Página web consultada.
**1.- Ecuador Libre Red. 2013.** Impacto de la actividad petrolera en los ecosistemas amazónicos [En línea]. Disponible en: http://www.ecuadorlibrered.tk/index.php/ecuador/ambiente/2495-2013-11-26-17-23-43. 2015 noviembre 15

**(2).- (2).- Ecologistas en acción. 2014.**
Impactos en el medio marino de los sondeos y exploraciones de la industria de hidrocarburos. [En línea], disponible en: https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe_prospecciones.pdf. 2015 Noviembre 15