

VALIDACIÓN DE TRES PRODUCTOS DE PRECIPITACIÓN EN LA COSTA ECUATORIANA*

Por: Jonathan Cedeño^{1,2}

Resumen

Tres productos de precipitación con cobertura global han sido analizados para la zona costera ecuatoriana (bajo los 1350 m.s.n.m), durante el período 1964-1994, para evaluar su comportamiento y consistencia, en adición a su respuesta al ciclo estacional gobernante. Los productos de precipitación evaluados son: CRU (Climate Research Unit, University of East Anglia), GPCC (Global Precipitation Climatology Centre, Deutscher Wetterdienst), y UDEL (University of Delaware), interpolados a una grilla regular de 0.25°. El conjunto de datos de referencia escogido (INAMHI 2k) fue construido a partir del registro de 51 pluviómetros localizados en estaciones meteorológicas del litoral ecuatoriano, interpolados a una grilla de 0.25°.

El análisis se fundamenta, principalmente, en comparaciones del ciclo anual y de los totales anuales de precipitación de los conjuntos de datos por zonas de precipitación homogénea en la costa previamente definidas, usando análisis de sesgo, sesgo/error y correlación. Adicionalmente se ejecutó el test de Kruskal-Wallis sobre cada punto de grilla para evaluar las diferencias estadísticas entre esos productos y el conjunto de datos de referencia.

De forma general, los tres productos reproducen consistentemente el ciclo anual costero, sin embargo, de las comparaciones estadísticas se puede concluir que el producto GPCC es el que mejor se ajusta al régimen de precipitación observado. Además, aún cuando los tres productos de precipitación usados en este estudio son comúnmente basados en datos de precipitación provistos por los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos alrededor del mundo, el sistema de asimilación y procesamiento de datos (que incluyen los procesos de interpolación) podrían explicar las diferencias encontradas entre los productos.

Palabras Claves: Precipitación, Costa, Ecuador, Test Kruskal-Wallis, Sesgo, Error, Ciclo Anual, Totales Anuales.

Abstract

Three precipitation products with global coverage have been analyzed for the Ecuadorian coastal zone (below 1000 m above sea level), during the period 1964-1994, to evaluate their behavior and consistency, in addition to their response to the governing seasonal cycle. The precipitation products are: CRU (Climate Research Unit, University of East Anglia), GPCC (Global Precipitation Climatology Centre, Deutscher Wetterdienst), and UDEL (University of Delaware), regridded at a regular grid of 0.25°. The reference dataset chosen (INAMHI 2k) is based on observations from 51 rain-gauges located at meteorological stations on the Ecuadorian littoral, gridded at 0.25°.

The analysis is based, principally, on comparison of the products with the observed annual cycle and total annual precipitation in previously defined homogeneous coastal precipitation zones, using bias, bias/error and correlation analyses. Additionally, a Kruskal-Wallis test was executed over every grid point to assess the statistical differences between these products and reference dataset.

Generally, the three products reproduced consistently the coastal annual cycle, however, from the statistical comparison we conclude that GPCC dataset is the one that better adjusts to the observed precipitation regime. In addition, although the three precipitation datasets used in this study are all based on rain-gauge data from National Meteorological and Hydrological Services around the world, the data assimilation and processing systems (including the interpolation procedures) could explain the differences found between the products.

Key Words: Precipitation, Coast, Ecuador, Kruskal-Wallis Test, Bias, Error, Annual Cycle, Annual Totals.

*Resumen de la tesis de grado "Validación de Tres Productos de Precipitación en la Costa Ecuatoriana", presentada el 23 de octubre del 2008, para la obtención del título de Oceanógrafo (FIMCM-ESPOL).

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL. P.O. Box 01-5863. Guayaquil, Ecuador.

²Instituto Oceanográfico de la Armada INOCAR. P.O. Box 5940. Guayaquil, Ecuador.

Introducción

El estudio de la variabilidad de baja frecuencia en Oceanografía y Meteorología es comúnmente limitado por la disponibilidad de series de tiempo de 30 años o de mayor duración, lo mínimo requerido para estudios climatológicos. El interés en los análisis de precipitación de largo término proviene de la necesidad de evaluar la disponibilidad de recursos de agua dulce y su manejo relacionado a uso de suelo, agricultura e hidrología, incluyendo la reducción de riesgo inundaciones y deslaves, a más de otros intereses científicos como cambio climático y su impacto en todas las escalas espaciales. Basados en estas necesidades, organizaciones nacionales e internacionales comenzaron y soportaron una gran variedad de programas de investigación, monitoreo climático y modelaje, incluyendo reanálisis y construcción de conjuntos de datos que, utilizando datos observados, a través de diversas técnicas de re-asimilación e interpolación, obtienen como “productos” series de tiempo de cerca de 40 años de duración. Dado estos antecedentes, el principal objetivo de este estudio es la validación de tres de estos productos de precipitación, y su desempeño con respecto al régimen de lluvias observado en la costa ecuatoriana.

Datos

Se tomó como base datos mensuales de precipitación en milímetros, pertenecientes a 51 estaciones meteorológicas de la zona costera (delimitada por las estribaciones occidentales de la cordillera de los Andes, hasta los 1,350 m.s.n.m). El período de evaluación fue definido para los años 1964-1994, basado en la fecha más común de inicio de los registros pluviométricos, y el estado de actualización de la base de datos disponible. Los datos fueron proveídos por el Proyecto IAI CRN-038 (Cornejo-Grunauer, 2005), suplidos a su vez por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Dirección General de Aviación Civil (DGAC), Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), Corporación Reguladora de Manejo Hídrico de Manabí (CRM) y por el Programa Regional para el Desarrollo del Sur (PREDESUR). Antes de la interpolación, se llevó a cabo en cada registro el proceso correspondiente de Control de Calidad, que incluyó un test de homogeneidad (Wang y Feng, 2007) basado en el t-test penalizado (Wang et al., 2007) y el F-test máximamente penalizado (Wang, 2007); los detalles de este procedimiento son dados en Cedeño (2008).

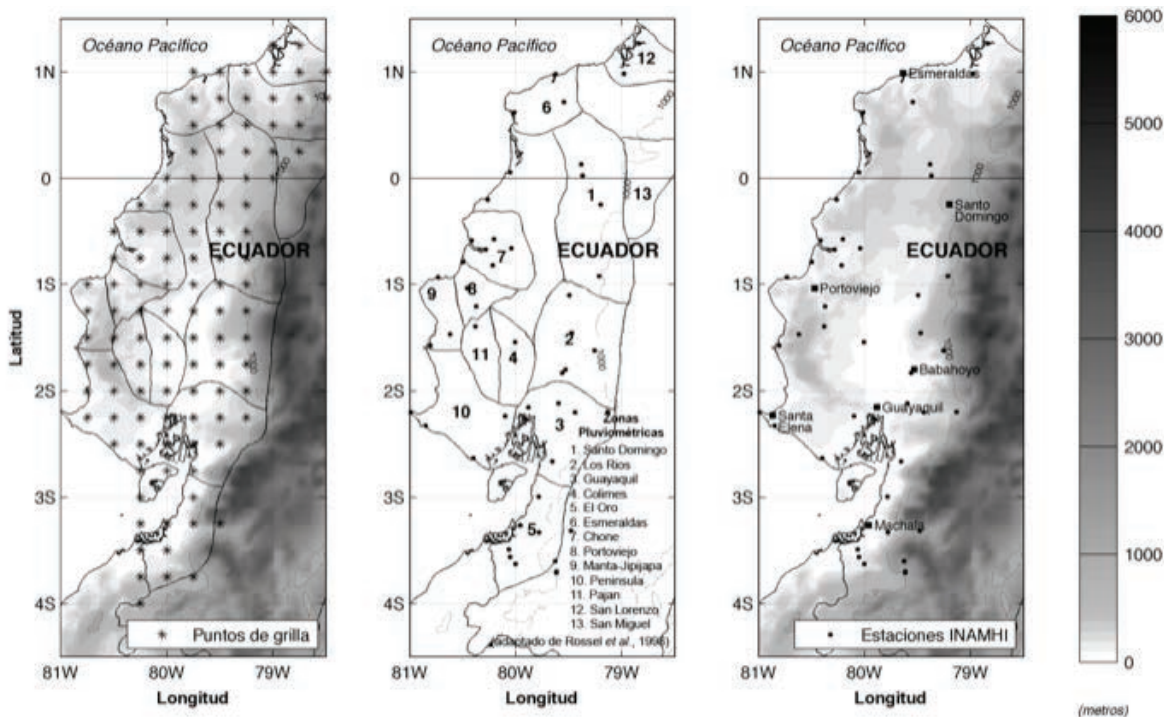


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas con registros pluviométricos usados en este estudio (derecha). Zonas de precipitación homogénea, de acuerdo a Rossel et al., 1998 (centro). Puntos de la grilla base de 0.25° definidos para la zona costera ecuatoriana (izquierda).

Los datos de precipitación de cada estación fueron interpolados, recibiendo el nombre de INAMHI12k, el cual es usado como conjunto de datos referencial para la evaluación de los productos de precipitación. El cálculo de los promedios espaciales por cada punto de grilla consistieron en dos grandes pasos: (1) interpolación desde las estaciones al centro de cada celda ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$ latitud/longitud) con la técnica Kriging (Deutsch y Journel, 1992), un método bien conocido para la interpolación espacial de mapas de precipitación (Bendix y Bendix, 1998); y (2) una segunda interpolación del tipo lineal (Guibas y Stolfi, 1985) a una grilla de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (de nuevo, al centro de cada celda). A causa de que las estaciones se encuentran en la costa, y que la máxima elevación del área de estudio es menor que 1,350 m en las estribaciones andinas y ~750 m en la cordillera costera (Figura 1), el interpolador Kriging fue ejecutado sin ninguna corrección por efecto topográfico.

La evaluación de los tres productos de precipitación corresponde al mismo período 1964-1994. El producto CRU-TS 2.1, del Climate Research Unit, Universidad de East Anglia (Mitchell y Jones, 2005), representa la quinta entrega de la serie TS (Time Series), y cubren un período extendido de 101 años (1901-2002). El producto Global Precipitation Climatology Centre GPCC Full Data Product Version 3 (Rudolf y Schneider, 2005) es la tercera versión de los Productos de Reanálisis de Datos de GPCC, y cubre 53 años de registros, desde 1951 al 2004. El Terrestrial Precipitation 1900-2006 Gridded Monthly Time Series Version 1.01 de la Universidad de Delaware UDEL (Legates y Willmott, 1990), liberado para su uso en junio del 2007, es una variante nueva y mejorada de los productos UDEL, el cual contiene 106 años de datos de precipitación, hasta el 2006.

Todos estos productos tienen cobertura global, y una resolución máxima de 0.5° , la cual en el

presente estudio fue llevada a 0.25° (27.77 km) a través de interpolación lineal, extrayéndose los valores de precipitación correspondientes a la zona costera ecuatoriana.

Metodología

El análisis está basado, principalmente, en la comparación de las diferencias de medias (también llamado sesgo), del cociente sesgo/error y de las correlaciones espacio-temporales (Bosilovich et al., 2007) del ciclo anual y de los totales anuales de precipitación entre los productos y el conjunto de datos referencial, agrupados por zonas pluviométricas definidas previamente por Rossel et al. (1998), en la cual se asume que el régimen de lluvia es homogéneo. Para la costa ecuatoriana, las zonas pluviométricas son Santo Domingo, Los Ríos, Guayaquil, Colimes, El Oro, Esmeraldas, Chone, Portoviejo, Manta-Jipijapa, Península, Paján, San Lorenzo y San Miguel (Figura 1 y Tabla 1).

Los datos fueron filtrados para su uso en el análisis regional (2) con un filtro pasa-banda Butterworth (Filtro Digital de Respuesta Infinitiva a Impulsos) para un período de 3-12 meses, removiendo de esta manera el ruido inherente a la variabilidad interanual, como la asociada a ENOS (El Niño-Oscilación del Sur). Detalles de la implementación de los algoritmos para el filtrado de las series de tiempo se encuentran en Mesquita y Halldórsdóttir (2005), y Cedeño (2008). Para los totales anuales (análisis espacial y regional), los datos de cada producto y del conjunto de datos referencial no fueron filtrados. El análisis está dividido en dos partes principales: (1) sobre cada punto de grilla (análisis espacial de los promedios de los totales anuales: su sesgo, sesgo/error y test de Kruskal-Wallis de la serie de tiempo de precipitación por estación climática) usando las series de tiempo no filtradas por punto de grilla; y (2) por región

Tabla 1. Descripción de las regiones pluviométricas de la costa ecuatoriana usadas en el análisis regional.

	NO. DE ESTACS. METEORs.*	NO. DE PUNTOS DE GRILLA	ÁREA ESTIMADA**	DENSIDAD (estaciones / 10,000km ²)	DENSIDAD (puntos de grilla / 10,000 km ²)
1 Santo Domingo	4	13	12,361.92	3.24	10.52
2 Los Ríos	5	10	5,606.18	8.92	17.84
3 Guayaquil	7	11	5,373.14	13.03	20.47
5 El Oro	6	9	4,005.08	14.98	22.47
6 Esmeraldas	2	4	3,911.00	5.11	10.23
7 Chone	5	6	4,725.22	10.58	12.70

*Número de Estaciones Meteorológicas.

**Estimada bajo un esquema de cálculo de área por polígonos basado en AutoCAD®.

(análisis regional del ciclo anual y totales anuales por zona de precipitación homogénea, y su correspondiente sesgo, sesgo/error y correlación) usando las series filtradas (para el caso del ciclo anual) y no filtradas (total anual) de los productos CRU, GPCC, UDEL e INMAH12k, respectivamente.

Para evaluar las diferencias de las series de tiempo de precipitación, por punto de grilla y por región, se usó el test de varianza no-paramétrico de Kruskal-Wallis (Conover, 1980). Las presunciones detrás de este test son que las mediciones provienen de una distribución continua entre las muestras, pero no necesariamente son normales (el régimen de precipitación en la costa ecuatoriana es comúnmente explicado por una distribución gamma o chi-cuadrado, ECLIMA, 2000). El test de Kruskal-Wallis fue ejecutado sobre cada punto de grilla en el análisis espacial, tanto para la estación lluviosa como para la seca; y por región (promedios espaciales por zonas pluviométricas), definiéndose por estación seca los meses entre mayo y noviembre, y por estación lluviosa los meses de diciembre a abril (Bendix y Lauer, 1992).

Resultados

Promedio de los Totales Anuales - Análisis Espacial

Los promedios de los totales anuales, calculados como el promedio interanual del acumulado anual de precipitación por punto de grilla, son mostrados en la Figura 2. La distribución espacial de la precipitación acumulada es consistente en todos los productos de precipitación aún cuando GPCC tiende a subestimar el total anual en San Lorenzo más que los otros productos. El promedio de los totales anuales del CRU son, de manera general, los más cercanos con respecto al conjunto referencial, aunque en el margen costero de Manabí y Esmeraldas las diferencias son negativas (~+500 mm, Figura 3a). En las estribaciones andinas centrales y su zona de influencia (regiones de Santo Domingo y Los Ríos), el GPCC reporta valores de cerca de -1250 mm/año con relación al INAMH12k. Esta situación es también cierta para un área localizada al SE de Los Ríos en el producto UDEL. Hacia el suroeste de la región de Esmeraldas, UDEL muestra valores de sesgo de -1200 mm, en contraste con lo encontrado en el norte de Esmeraldas (+375 mm). El cociente sesgo/error complementa los resultados encontrados en el sesgo, determinando diferencias apreciables en el producto CRU en el margen costero desde la punta de San Lorenzo, en Manabí, hasta la ciudad de Esmeraldas (valores de -1.5). En el resto

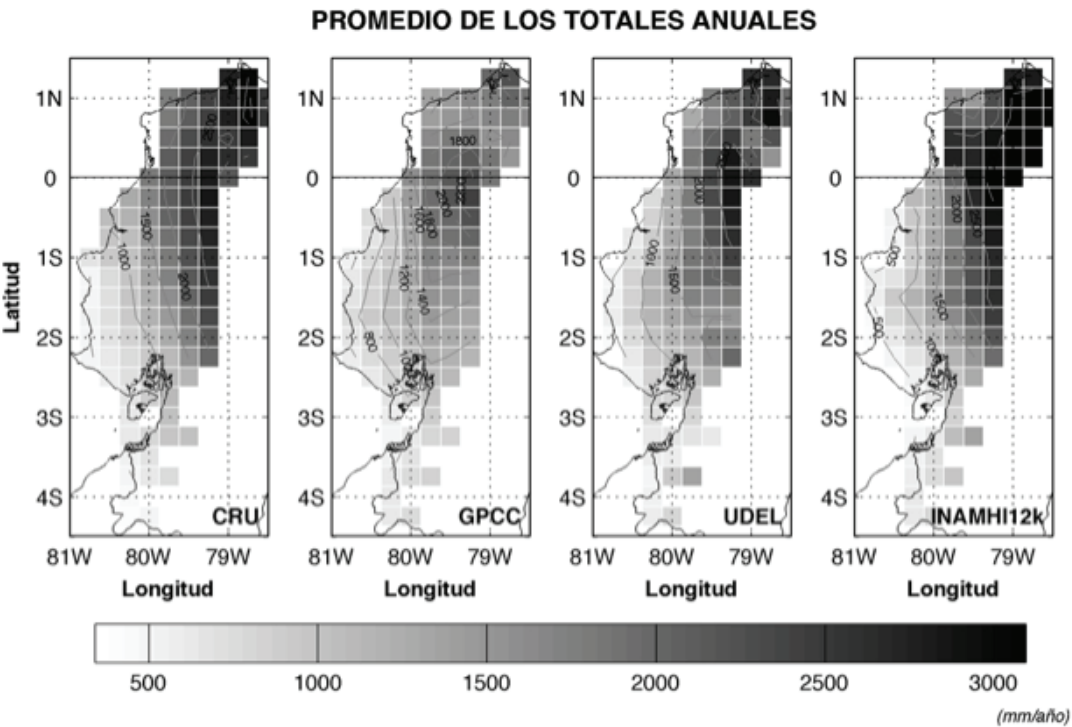


Figura 2. Promedio de los totales anuales de precipitación para cada uno de los productos evaluados y el INAMH12k, en mm/año (adaptado de Cedeño y Cornejo-Grunauer, 2008).

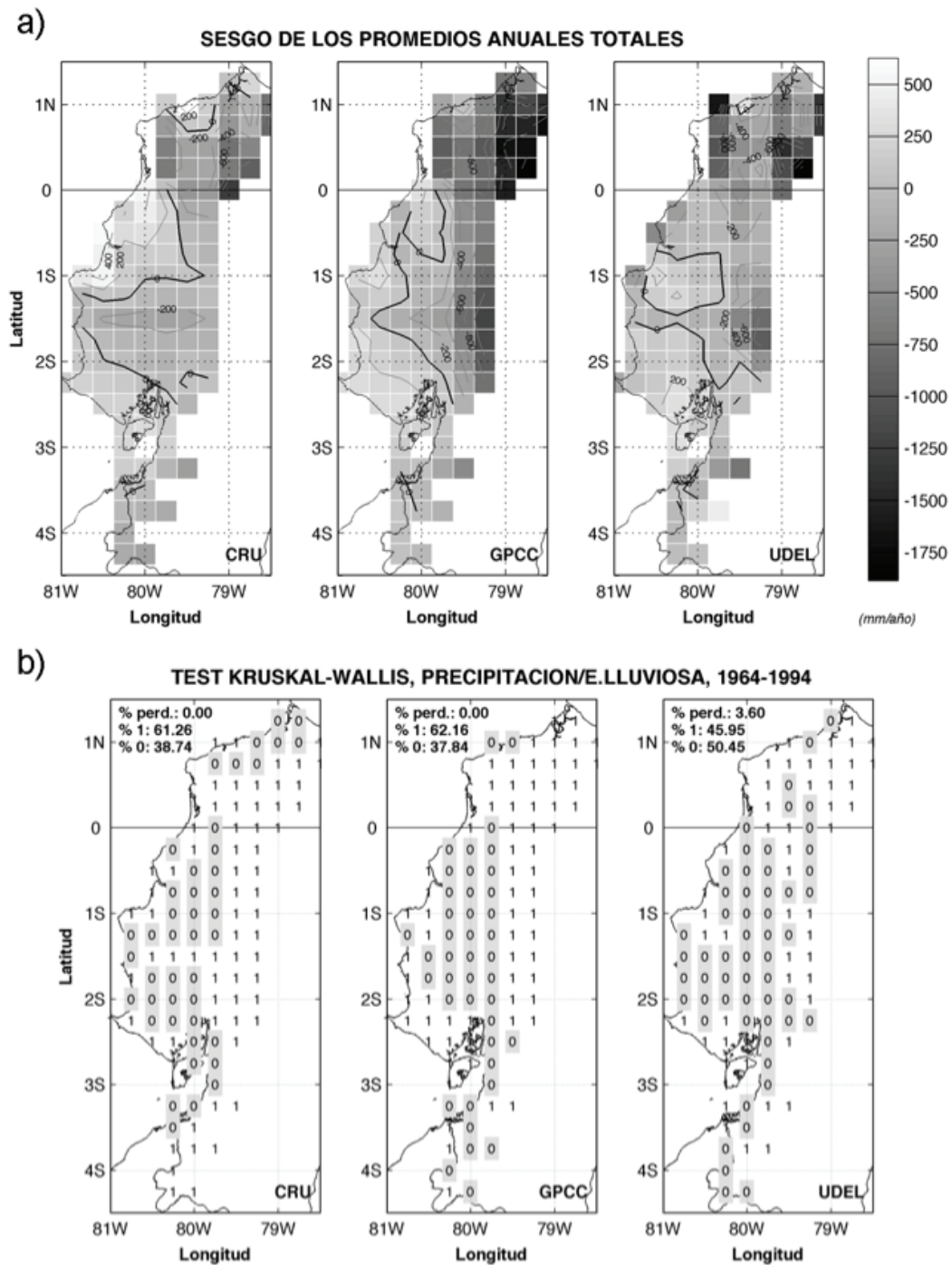


Figura 3. Sesgo de los promedios de los totales anuales entre los productos de precipitación e INAMHI12k (a) y Test de Kruskal-Wallis para las series de tiempo de precipitación para la estación lluviosa. Las áreas en donde la hipótesis nula (H_0 : las medias son iguales) es rechazada, es marcada con unos (1). El porcentaje de aceptación/rechazo de la hipótesis nula es indicada en el extremo superior-izquierdo de cada panel, así como el porcentaje de área en el cual el test de Kruskal-Wallis no fue ejecutado.

de la costa se puede apreciar que el sesgo/error oscila entre -1.5 y 1.5, a excepción de la región de San Miguel, que alcanza +2.5. GPCC obtuvo valores de sesgo/error altos en las estribaciones andinas (+2) y en el perfil costero de las regiones de Santa Elena y Chone, y en el área del golfo de Guayaquil (menores a -1.5); mientras que

la distribución de este cociente en UDEL es, a grandes rasgos, similar a la del CRU. Los mayores valores de sesgo/error de este producto son apreciadas en El Oro (-2), Chone (-1.5) y San Miguel (+3).

El test de Kruskal-Wallis empleado sobre las series de tiempo de precipitación confirman los

resultados previos. En la estación lluviosa, para los productos CRU y GPCC, el 60% del área en estudio no presenta diferencias significativas con respecto a INAMHII2k, siendo para ambos casos el litoral interno el área en la que falla su representación (y en el caso del GPCC, de manera más puntual, Esmeraldas, Figura 3b). En la estación seca, los resultados del test no son del todo concluyentes ya que los valores sobre los cuales se trabaja son muy cercanos al cero, teniendo un margen de decisión muy reducido.

Ciclo Anual - Análisis Regional

Se muestran resultados de seis de las doce regiones pluviométricas analizadas, las cuales han sido definidas con datos de dos o más estaciones meteorológicas (Tabla 1). Estas regiones son: Guayaquil y El Oro (7 registros cada uno), Los Ríos y Chone (5 registros cada una), Santo Domingo (4 registros) y Esmeraldas (2 registros).

En las regiones de Santo Domingo y Los Ríos, el ciclo anual se ubica dentro de una desviación estándar bajo el promedio con respecto al INAMHII2k. Pese a ello, si se comparan el sesgo y el cociente sesgo/error, las diferencias obtenidas de los productos con respecto al conjunto de datos referencial entre las distintas regiones son consistentemente más altas que en el resto. Para estas dos regiones, el sesgo marca como máximo ~ 100 mm en la estación lluviosa, siendo los productos UDEL y CRU los que mejor representan los regímenes del ciclo anual. Aún cuando CRU mantiene los valores de sesgo y sesgo/error más bajos, la correlación con respecto al conjunto de datos patrón es sostenidamente más baja que los otros productos, y en la gran mayoría de los casos, no es siquiera significativa al nivel de confianza propuesto (95%, Figura 4).

Para el resto de regiones, los productos exhiben un ajuste casi perfecto; en los cuales el cociente sesgo/error oscila entre ± 0.5 , siendo el GPCC y CRU los que ajustan mejor al ciclo anual del conjunto de datos referencial. En estas regiones, los valores de correlación del GPCC y UDEL se encontraron entre 0.8 y 1, teniendo el producto CRU similar desempeño que en las regiones 1 y 2 (esto es, bajas correlaciones).

En Esmeraldas el ajuste de los productos al ciclo anual patrón de INAMHII2k mejoró cuando se eliminaron los puntos de grilla correspondientes

a Muisne y su área circundante, siendo GPCC y CRU quienes mejor representan el ciclo anual en esta región.

Una característica común del producto CRU dentro del ciclo anual fue su pobre desempeño en el análisis de correlación. Es casi una constante las bajas correlaciones y, como se lo mencionó anteriormente, que en la mayoría de las regiones estas no sean estadísticamente significativas.

Totales Anuales - Análisis Regional

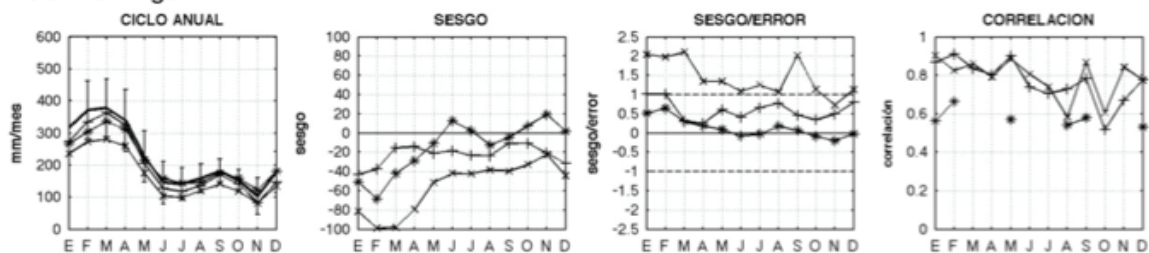
En las regiones de Guayaquil, El Oro y Chone, el total anual de los productos de precipitación reportan valores de sesgo/error cercanos a 0 (para Guayaquil, el GPCC subestimó lluvia en valores promedios a -62 mm, que en términos de sesgo/error equivale a ~ 3). A excepción de la región de Guayaquil, en donde se anotó que GPCC subestima lluvia, se considera que los productos UDEL y GPCC ajustan mejor al total anual de precipitación observado.

En las regiones de Santo Domingo y Los Ríos, el CRU obtuvo el menor sesgo y sesgo/error; aún cuando este producto subestima el total anual en cerca de -124.5 mm promedio. En contraste, los otros dos productos subestiman en promedio -300 mm (UDEL) y -650 mm (GPCC), valores que oscilan de manera general entre ± 1 en el cociente sesgo/error; a excepción de los años 1982 y 1987 (Figura 5).

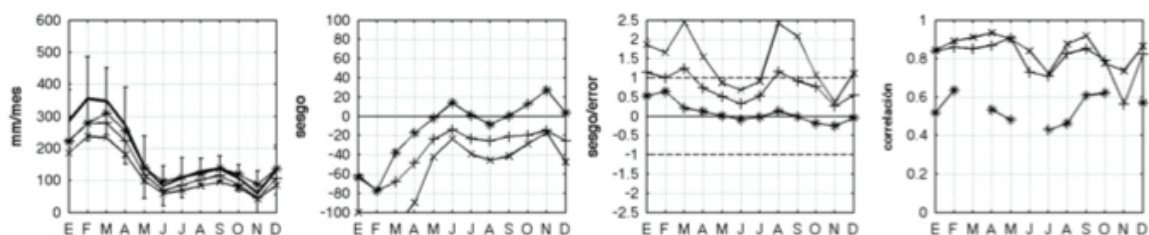
Para Esmeraldas, UDEL y GPC representaron de mejor manera los totales anuales (los valores de sesgo oscilaron más cercanamente al cero, acumulando menos sesgo/error).

El análisis de correlaciones mostró resultados similares con respecto al ciclo anual, en donde las correlaciones de los productos GPCC y UDEL tendieron a uno en gran parte de los casos (se nota como una constante que en la década de los 80s la correlación tiende a bajar, para ubicarse en 0.8). Así mismo, CRU mantiene correlaciones significativamente más bajas que sus pares, siendo en algunos años no significativa al 95% de confianza (la línea que lo representa es entrecortada). Otra característica del CRU es que en los años 1983, 1986 y 1987, éste producto muestra picos extremos que no se reflejan en los datos observados (esto es particularmente cierto para las regiones de Los Ríos, Guayaquil, El Oro y Chone).

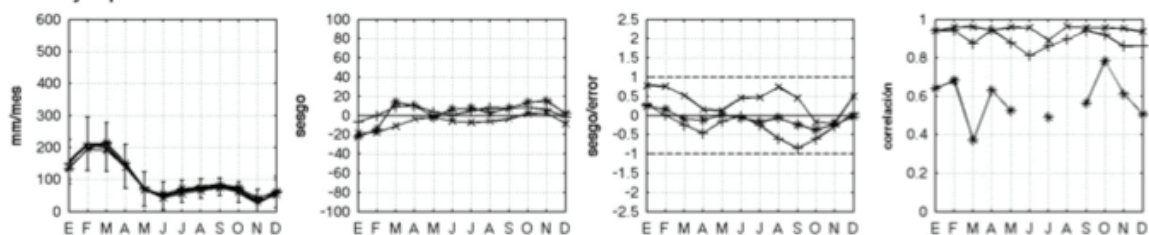
a) 1 Sto. Domingo



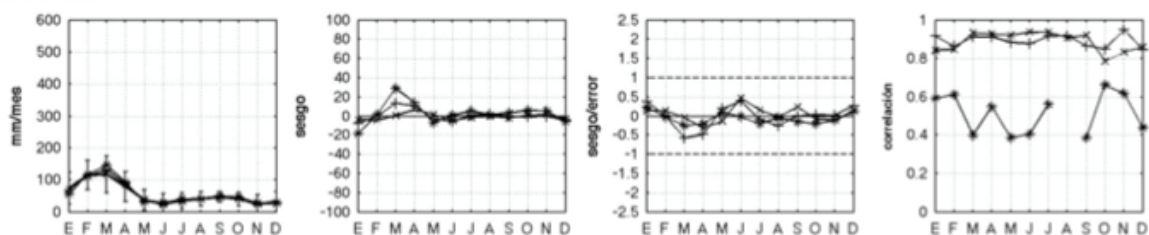
b) 2 Los Ríos



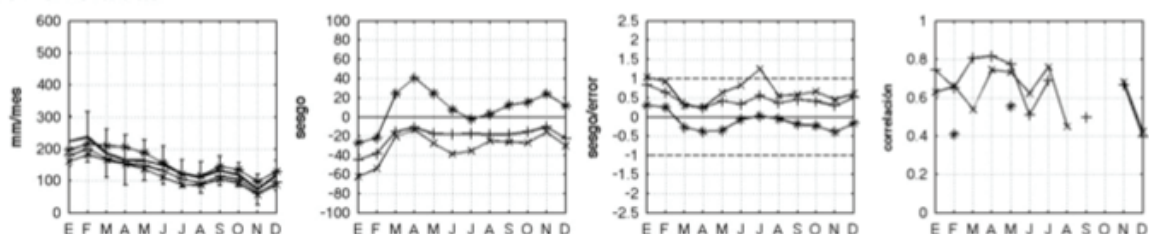
c) 3 Guayaquil



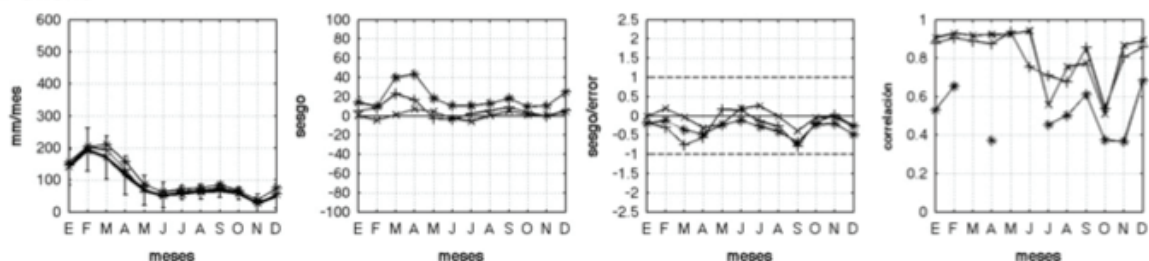
d) 5 El Oro



e) 6 Esmeraldas



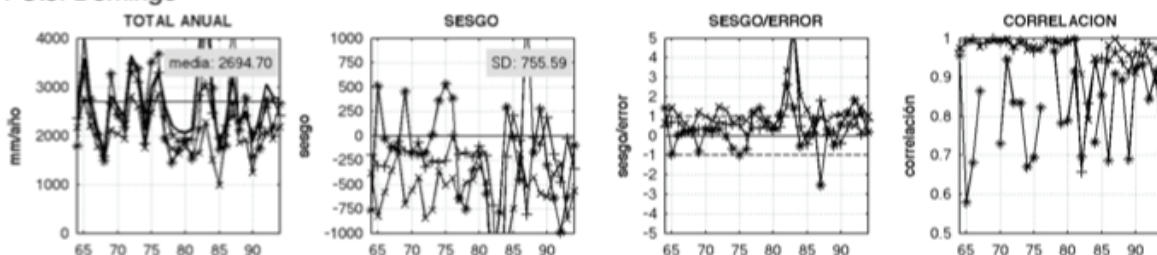
f) 7 Chone



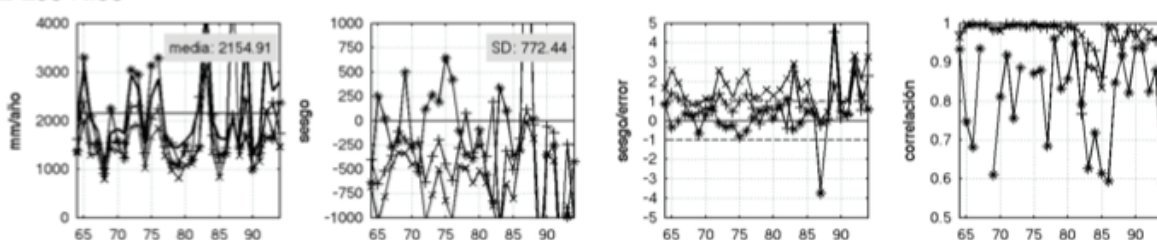
* CRU x GPCC + UDEL — INAMHI12k

Figura 4. Ciclo Anual, Sesgo, Sesgo/Error y Correlación ($\alpha = 0.05$) para las regiones especificadas. En el Ciclo Anual se muestra además las barras de error para una desviación.

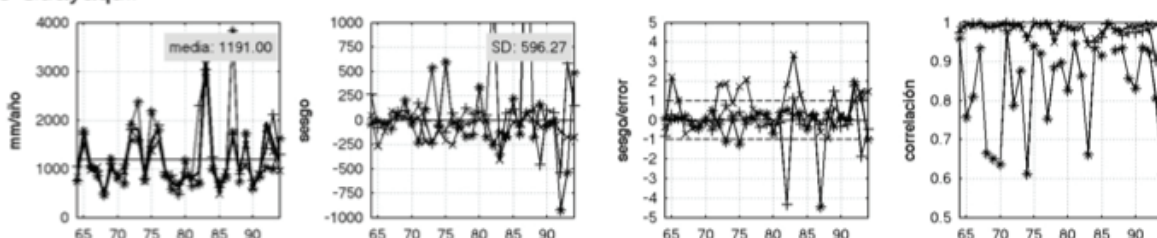
a) 1 Sto. Domingo



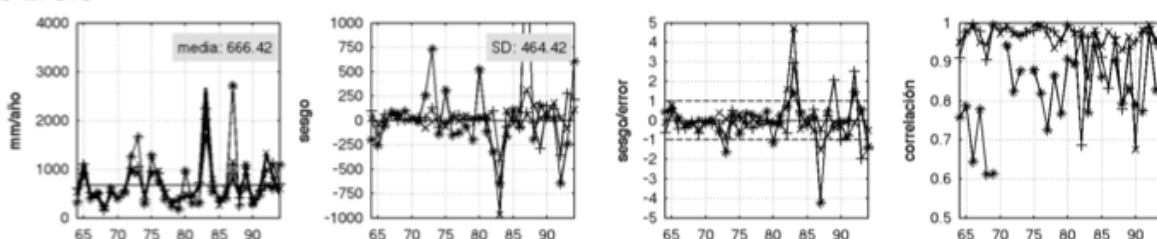
b) 2 Los Ríos



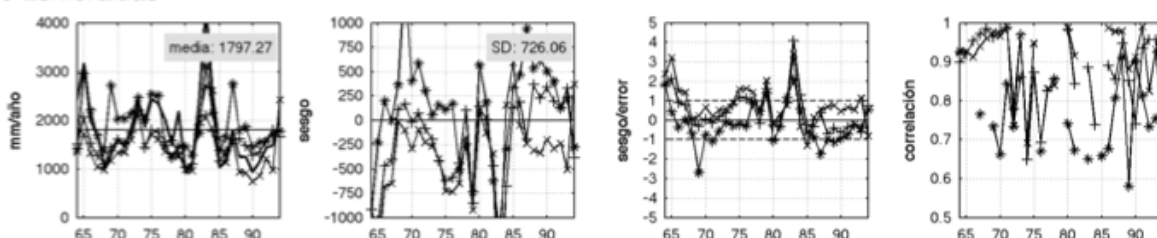
c) 3 Guayaquil



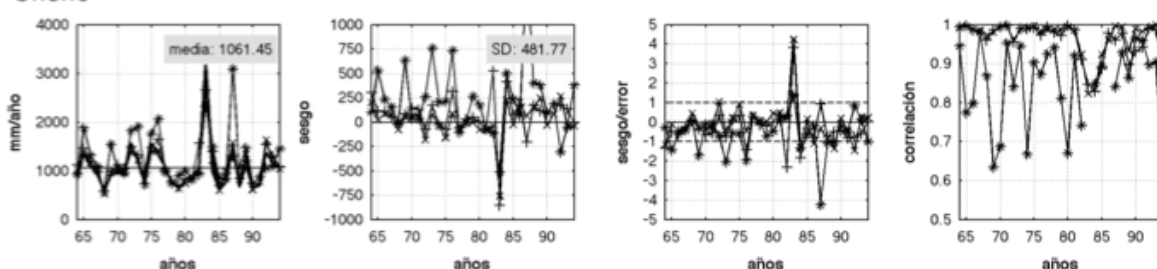
d) 5 El Oro



e) 6 Esmeraldas



f) 7 Chone



—*— CRU —x— GPCC —+— UDEL ——— INAMHI12k

Figura 5. Totales Anuales, Sesgo, Sesgo/Error y Correlación ($\alpha = 0.05$) para las regiones especificadas. Se muestran también los valores promedios y de desviación estándar del total anual patrón (INAMHI12k).

Conclusiones

- Las regiones propuestas por Rossel et al. (1998) fallan en su representación del régimen de precipitación en las regiones de Esmeraldas y Península. Las estaciones que permitieron detectar estas inconsistencias fueron Muisne (región Esmeraldas) y Chongón (región Guayaquil). Muisne revela un régimen pluviométrico que es más cercano a San Lorenzo que a la región de Esmeraldas; y Chongón con Guayaquil, en detrimento de la región de la Península. A causa de esto, Chongón y su área de influencia, los datos fueron re-dirigidos a Guayaquil, y Muisne no fue tomado en cuenta en el análisis regional y espacial (basado en el hecho de que la distribución del total anual de precipitación de la región más cercana no explica el régimen de Muisne; INAMHI, 1996 e INAMHI, 2006).

- Es necesario efectuar un estudio detallado de la calidad de datos y régimen pluviométrico asociados a la estación meteorológica Muisne (provincia de Esmeraldas). En precipitación, se ha detectado inhomogeneidades durante la década de los 80s, pero no existe un criterio unificado acerca de cómo reconstruir la serie de tiempo y de la certeza del registro durante el espacio de tiempo más estable de la serie.

- El producto que mejor ajusta el régimen de precipitación en la costa ecuatoriana, de manera general, es el GPCC. En las regiones de Esmeraldas y San Lorenzo, el CRU presentó menores valores de sesgo, aún cuando en el análisis de correlación muestra sistemáticamente, en todas las regiones, valores bajos, y en algunos casos, no significativos (95%).

- En el análisis espacial, los resultados sugieren que la topografía puede jugar un papel activo en la explicación del sesgo en los totales anuales. Las regiones en la cual la H_0 es rechazada está mayormente asociada con las estribaciones andinas.

- Ninguno de los productos usan un algoritmo de interpolación que toma en cuenta el efecto de elevación, a pesar de que la evidencia muestra que la precipitación en los trópicos dependen de varios factores, entre ellos, la altitud.

- Los ciclos anuales en las regiones pluviométricas escogidas fueron reproducidos consistentemente, a pesar de las diferencias reportadas. La variabilidad interanual, vista a través de los totales anuales, tiene un considerable sesgo asociado en las regiones de San Lorenzo,

Esmeraldas, Los Ríos y Santo Domingo, siendo éstas regiones las que muestran menor densidad de información base (Tabla 1).

- El bajo desempeño del producto CRU puede ser explicado por el sistema de re-procesamiento de datos. La construcción de los campos de precipitación en el CRU usa una metodología basada en la conversión de los valores de precipitación en anomalías para, en un paso final, reconvertir a valores absolutos la grilla de anomalías interpoladas a través de la combinación de éstas con las normales de 1961-1990. Este proceso de conversión resulta, en algunos casos, en una substancial pérdida de datos (Mitchell y Jones, 2005). En contraste, GPCC y UDEL tienen un esquema más tradicional de procesamiento de datos (aún cuando UDEL usa un esquema de interpolación ayudado por climatología CAI, Climatological-Aided Interpolation, que trabaja sobre valores absolutos de precipitación.

- A partir de la validación de estos productos, y del mejor criterio de elección basado en los resultados obtenidos en este estudio, se esperaría que la comunidad que usualmente es usuaria de datos de precipitación (desde planificadores de políticas gubernamentales, tomadores de decisión, ingeniería y diseño de estructuras: hasta científicos en el área de hidrología, climatología y variabilidad climática) usen estos productos, beneficiándose de las ventajas que ofrecen, como: acceso sin restricciones, cobertura espacio-temporal, y resolución. Así mismo, esta metodología puede ser aplicada para otros estudios de validación de diferentes conjuntos de datos y de reanálisis, así como para mejorar el esquema de asimilación de datos en una escala reducida.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de María del Pilar Cornejo-Grunauer, profesora de la Fac. de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar de la ESPOL, y directora del centro CADS-ESPOL; por su invaluable contribución a que ésta investigación llegue a buen término, en su calidad de directora de tesis. A Verónica Ruiz (ESPOL) por las aproximaciones estadísticas; a Gonzalo Ontaneda (INAMHI) por el acceso a los registros de metadata de las estaciones meteorológicas enlistadas en este estudio, a Telmo De la Cuadra (INP), ambos por sus valiosos comentarios aportados en las diversas etapas de desarrollo del estudio. Un reconocimiento especial a las oficinas

de INAMHI Quito e INAMHI Guayaquil por los criterios emitidos en torno a la estación M-153 Muisne, así como por la provisión parcial de datos de precipitación de la región costera. Este trabajo fue realizado con el soporte del Proyecto 4 "Sistemas de Manejo Ambiental en Acuicultura y Agricultura" del programa VLIR-ESPOL, y por la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.

Referencias

- Bendix J. y A. Bendix (1998).** *Climatological Aspects of the 1991/1992 El Niño in Ecuador.* Bull. Inst. fr. Études Andines 27(3), 655-666.
- Bendix, J. y W. Lauer (1992).** *Die Niederschlagsjahrszeiten in Ecuador und Ihre Klimadynamische Interpretation.* Erdkunde 46, 118-134.
- Bosilovich M.G., J. Chen, F.R. Robertson y R.F. Adler (2007).** *Evaluation of Global Precipitation in Reanalyses.* Proc. 21st Conference on Hydrology, San Antonio, TX, January, 2007.
- Cedeño J. (2008).** *Validación de Tres Productos de Precipitación en la Costa Ecuatoriana.* Tesis de Grado en Oceanografía, FIMCM-ESPOL, Guayaquil.
- Cedeño J. y M.P. Cornejo-Grunauer (2008).** *Evaluation of Three Precipitation Products on Ecuadorian Coast.* Presented as Poster at 3rd World Climate Research Program WCRP International Conference on Reanalyses, Tokyo, Japan. January 2008.
- Conover W.J. (1980).** *Practical Nonparametric Statistics.* 2nd Ed., J. Wiley & Sons, New York.
- Cornejo-Grunauer M.P. (2005).** *Final Report of IAI CRN-038 "Multi-Objective Study of Climate Variability for Impact Mitigation in the Trade Convergence Climate Complex" Project.* Tech. Report, ESPOL, Guayaquil.
- Deutsch, C.V., y A.G. Journel (1992).** *GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide,* Oxford University Press, New York, 338 pp.
- ECLIMA (2000).** *Distribución de la Precipitación.* Disponible en: <http://www.fimcm.espol.edu.ec/Webpages/Eclima/investigacion/rainfall.htm>
- Guibas, L., y J. Stolfi (1985).** *Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams.* ACM Transac. Graph. 4(2), 74-123.
- INAMHI (1996).** *Anuario Meteorológico 1995,* 35. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Quito.
- INAMHI (2006).** *Anuario Meteorológico 2005,* 45. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Quito.
- Legates D.R. y C.J. Willmott (1990).** *Mean Seasonal and Spatial Variability in Gauge-Corrected, Global Precipitation.* Intl. J. Climatol. 10, 111-127.
- Mesquita M. y S. Halldórsdóttir (2005).** *Data Analysis: Filtering, Crosscorrelation, Coherence and Applications to Geophysical Data using MATLAB.* Tech. Report, University of Bergen, Bergen.
- Mitchell T. y P. Jones (2005).** *An Improved Method of Constructing a Database of Monthly Climate Observation and Associated High-Resolution Grids.* Intl. J. Climatol. 25, 693-712.
- Rossel F., R. Mejia, G. Ontaneda, R. Pombosa, J. Roura, P. Le Goulven, E. Cadier y R. Calvez (1998).** *Régionalisation de l'influence du Niño sur les précipitations de l'Equateur.* Bull. Inst. fr. Études Andines 27(3), 819-827.
- Rudolf B. y U. Schneider (2005).** *Calculation of Gridded Precipitation Data for the Global Land-Surface using in-situ Gauge Observations.* Proc. 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group IPWG, Monterey October 2004, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.
- Wang X.L. (2007).** *Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change.* J. Atmos. Oceanic Tech., accepted.
- Wang X.L., Q.H. Wen, y Y. Wu (2007).** *Penalized maximal t-test for detecting undocumented mean change in climate data series.* J. Appl. Meteor. Climatol. 46(6), 916-931. DOI:10.1175/JAM2504.1
- Wang X. L. y Y. Feng (2007).** *RHtestV2*
User Manual. Disponible en: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>

ESPECIES PLANCTÓNICAS MARINAS COMO BIOINDICADORAS DE MASAS DE AGUA FRENTE A LA COSTA ECUATORIANA DURANTE EL EVENTO EL NIÑO 2009 - 2010

Manuel Cruz¹⁻²
María Elena Tapia¹
Christian Naranjo¹

Resumen

Con la finalidad de determinar la influencia del evento El Niño 2009-2010 que se desarrolló en las regiones Niño 1+2 y 3.4, en base a los organismos indicadores de masas de aguas para determinar la intensidad y efectos en la costa ecuatoriana, se utilizaron cinco grupos de organismos planctónicos: Diatomeas, Dinoflagelados, Quetognatos, Pterópodos, Heterópodos y las concentraciones de clorofila *a* antes, durante y después del evento El Niño 2009-2010.

En el primer trimestre del 2009 se registró una alta producción primaria, mientras que desde septiembre a noviembre se observó la más baja productividad del mar, en las estaciones fijas La Libertad como en Manta.

En la estación fija de La Libertad, durante todo el 2009 predominaron especies de fitoplancton que se relacionan con masas de aguas frías como *Leptocylindrus danicus* y *Rhizosolenia stolterfothii*, pero también se presentaron dinoflagelados que indican la presencia de aguas cálidas como *Proboscia alata* y *Ceratium macroceros*, que desde mayo a agosto aumentaron su porcentaje, originando aguas de mezcla.

Las especies de zooplancton de aguas frías como *Sagitta peruviana*, se presentaron durante El Niño 2009-2010, pero siempre su porcentaje fue menor en Manta, otra especie que ha predominado es *Sagitta bedoti*, indicadora de aguas de mezcla, estuvo dominante el segundo semestre con mayor porcentaje en Manta.

De las 10 especies de Pterópodos y heterópodos identificadas, se observaron desde septiembre del 2009 a marzo del 2010, estadíos juveniles de *Hyalocylis striata* indicando la presencia de Aguas Subtropicales y Tropicales cerca de la costa Ecuatoriana, relacionadas con el evento cálido que se encontraba en la región Niño 3.4.

El evento de El Niño desarrollado en la región Niño 3.4 en el Pacífico Central tuvo una influencia débil a moderada en la costa Ecuatoriana porque en la región Niño 1+2 del Pacífico Oriental existía un episodio neutral, que minimizaba la influencia del evento cálido que se encontraba en el Pacífico Central.

Palabras claves: Fitoplancton, Zooplancton, Diatomeas, Dinoflagelados, Quetognatos, Pterópodos, Heterópodos

¹Instituto Oceanográfico de la Armada - INOCAR- Base Naval Sur - Guayaquil.

²Fac, Ciencias Naturales. Univ. de Gquil.

Abstract

With the purpose of determining the influence of the event El Niño 2009-2010 who was developed in regions Niño 1+2 and 3,4, on the basis of the indicators organisms of waters masses to determine the intensity and effects in the Ecuadorian coast, five groups of planktonics organisms were used: The Diatoms, Dinoflagellates, Chaetognatha, Pterópods, heterópods and concentrations of chlorophyll *a*, before, during and after the event El Niño 2009-2010.

In the first trimester of the 2009 a high primary production was registered, whereas from September to November the lowest productivity of the sea in the fixed station of La Libertad like as much in Manta was observed.

In the fixed station of La Libertad during the year 2009 predominated species of phytoplankton that are related to cold waters masses like *Leptocylindrus danicus* and *Rhizosolenia stolterfothii*, but also they appeared dinoflagellates that indicates the presence of warm water like *Proboscía alata* and *Ceratium macroceros*, which from May to August they increased his percentage, originating mixture waters.

The species of zooplankton of cold waters like *Sagitta peruviana*, they appeared during El Niño 2009-2010, but always its percentage was smaller in Manta, another species that has predominated is *Sagitta bedoti*, indicator of mixture water, was dominant the second semester with greater percentage in Manta.

Of 10 species of Pterópods and heterópods, identified they were observed from September of 2009 to March of 2010, juveniles stages of *Hyalocylis striata* indicating the presence of subtropical and tropical water near the Ecuadorian coast, related to the warm event that was in region Niño 3.4.

The event the El Niño developed in region Niño 3,4 in the central Pacific had a weak to moderate influence in the Ecuadorian coast because in region Niño 1+2 of the Eastern Pacific a neutral episode existed, that diminished the influence of the warm event that was in the Central Pacific.

Palabras claves: Phytoplankton, Zooplankton, Diatoms, Dinoflagellates, Chaetognatha, Pterópods, Heterópods.

INTRODUCCION

Algunas especies planctónicas son potencialmente aptas para ser utilizadas como indicadores biológicos, dentro del área del Pacífico y en especial en aguas ecuatorianas debido a la ubicación estratégica. Sweatt (1980), considera que para evaluar un ecosistema con lleva obtener una información adecuada concerniente a su abundancia, distribución y su ecología.

Los monitoreos periódicos en la composición de las especies de la comunidad marina en un sitio clave y puntual, es un método para reconocer las variaciones temporales de la comunidad planctónica en los ecosistemas marinos (Naranjo, 2006).

Determinar los episodios cálidos como El Niño denominado también como El Niño Oscilación

Sur (ENOS) o fríos como La Niña, es muy importante para el Ecuador, y conocer también que uno de los índices para identificar este evento, es la Oscilación del Sur (IOS), que se obtiene de la diferencia de la presión atmosférica entre la isla de Tahití (Océano Pacífico Oriental-central) y Darwin (Océano Pacífico Occidental). (<http://www.imn.ac.cr/educa/ENOS-2.htm#INTRODUCCIÓN>).

La determinación de un evento El Niño o La Niña en el Océano Pacífico, generalmente responden a modelos hechos en base al comportamiento de los vientos, medición de la temperatura del mar superficial y sub-superficial hasta los 500 metros de profundidad, presión, entre otros parámetros, los que se están monitoreando diariamente con énfasis en la región 3.4, (5° N – 5° S, 120° -170° w). Según el Climate Prediction Center de la NOAA, U.S.A., para determinar los episodios cálidos y fríos, en las regiones Niño del océano

Pacífico Tropical, se considera una diferencia de $\pm 0.5^\circ$ Celsius y están basados en el Oceanic Niño Index (ONI).

En los países sudamericanos como el Ecuador, se están haciendo investigaciones del comportamiento de especies fitoplanctónicas y zooplanctónicas para identificar las masas de aguas, que se presentan antes, durante y después de un evento El Niño y La Niña, con la finalidad de utilizar estas especies como bioindicadoras de ecosistemas marinos y relacionarlas con el Evento El Niño o La Niña.

Los primeros trabajos realizados por Cruz, (1983), tuvieron el objetivo de conocer sus ambientes y reporta tres especies de Pterópodos tecosomados para el Golfo de Guayaquil, en los alrededores de la isla Puná. En el mismo año como resultado del análisis de 4 cruceros en el Golfo de Guayaquil, Cruz, (1983) menciona siete (7) especies: 5 Pterópodos tecosomados y 2 Heterópodos.

Más tarde, Cruz, (1996) reporta 9 especies de Pterópodos tecosomados y 5 Heterópodos, interpretando los ecosistemas marinos en base a las asociaciones de especies y reconoce que *Hyalocylis striata* es una especie que siempre está asociada a masas de aguas cálidas, luego Cruz, (1998) manifiesta que de las 10 especies de Pterópodos y Heterópodos encontrados, en aguas ecuatorianas, sólo 4 de ellas responden a los cambios que ocurren en el mar ecuatoriano. Este investigador, concluye que *Hyalocylis striata* es una especie que puede ser considerada y utilizada para pronosticar tempranamente el Evento "El Niño" y encontró que también se pueden utilizar estas especies para determinar los períodos cálidos y fríos, frente al Ecuador (Cruz, 2000, 2006).

El propósito de este trabajo es incrementar especies del fitoplancton como diatomeas y dinoflagelados, otras especies del zooplancton como quetognatos, que juntos con los pterópodos y heterópodos, puedan identificar mejor masas distintas de aguas frente al Ecuador y determinar las especies que se presentaron antes, durante y después del evento El Niño 2009 – 2010.

ÁREA DE ESTUDIO

Los monitoreos se efectuaron en dos estaciones fijas costeras con un total de 24 muestras de red para Fitoplancton y 24 muestras de red para Zooplancton con una periodicidad mensual en La Libertad y en Manta, utilizando lanchas de la Armada del Ecuador.

La posición geográfica de las estaciones fijas corresponde:

La Libertad $02^\circ 04' 00''$ sur - $81^\circ 05' 21''$ oeste y Manta $00^\circ 52' 00''$ sur - $80^\circ 49' 00''$ oeste, situadas a 10 millas y 8 millas de la costa respectivamente (Figura 1).



Figura 1. Localización del área de estudio en las estaciones fijas de La Libertad y Manta durante los años 2009-2010.

Las estaciones están influenciadas por diferentes corrientes marinas del Océano Pacífico Sureste, las masas de aguas cálidas tropicales superficiales provenientes del norte con temperaturas mayores de 25°C , comienzan a fines de diciembre hasta abril asociados a un período de lluvias (época húmeda).

Zambrano (1998), describe la estructura térmica mensual – anual desde 1990-1997 en La Libertad, determina que la termoclina de 20°C representa su relación con la estructura térmica del Pacífico

Sureste, con un comportamiento similar durante eventos ENOS de 1991, 1992 y 1997, así como durante las fases frías de 1996. Además, manifiesta que durante un episodio ENOS la costa del Ecuador es frecuente la presencia de ondas ecuatoriales internas Kelvin.

MATERIALES Y MÉTODOS

Métodos de Campo:

Clorofila *a*: Se colectaron muestras de agua con la botella Van Dorn en ocho niveles de profundidad: 0-10-20-30-40-50-75-100 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.

Arrastres planctónicos: Se realizaron arrastres superficiales hasta los 50m. de profundidad y verticales durante 10 minutos a una velocidad de 2 nudos, se emplearon redes de 30 cm de diámetro con una abertura de malla de 335 μ para colectar muestras de zooplancton. Adicionalmente se utilizó una red de 30 cm de diámetro con una abertura de malla de 50 μ para colectar muestras de fitoplancton.

Se emplearon flujómetros previamente calibrados para determinar el volumen de agua filtrada a través de la red, registrándose las lecturas iniciales y finales en cada uno de los lances. Las muestras fueron fijadas con solución de formaldehído al 4% previamente neutralizados con Tetraborato de sodio (Bórax).

En el Laboratorio:

Clorofila *a*: Las muestras refrigeradas en un tiempo de 24 horas, se las deja reposar por 30 minutos a temperatura ambiente, se centrifugaron cada muestra. Luego en un fluorómetro TURNER DESIGNS se leyeron las densidades ópticas de clorofila *a*, las lecturas se realizaron directamente en el tubo de fluorescencia (Tabla 1). Para los cálculos se emplearon las ecuaciones de (SCOR UNESCO Working Group 17, 1966).

Tabla 1. Escala de Clorofila *a*: Producción Primaria, expresado en mg/m³ (Tapia, 2006).

Rangos	Productividad
< 0.20 mg/m ³	Clorofila = Aguas de baja productividad
0.20 – 0.50 mg/m ³	Clorofila = Aguas ligeramente productivas
> 0.50 mg/m ³	Clorofila = Aguas productivas

Fitoplancton (muestras de red 50 μ):

Para los análisis de las muestras de redes, se obtuvieron 2 alícuotas homogeneizadas, colocadas en un portaobjeto y sobrepuesto un cubreobjeto de 20 x 20 mm, en un microscopio binocular, recorriendo toda el área del cubreobjeto, los datos son expresados en cel/m³ (Semina, 1967).

En la identificación de especies fitoplanctónicas, se utilizaron los trabajos de Jiménez (1983), Pesantes (1983), Zambrano (1983), autores que han investigado las especies del Golfo de Guayaquil; y otros textos como Cupp (1940), Moreno (1996).

Zooplancton (muestras de red 335 μ):

Se procedió a extraer alícuotas con la ayuda del separador de Folsom, se analizó toda la muestra planctónica obtenida mediante arrastres superficiales y verticales. Posteriormente las muestras fueron analizadas para determinar cualitativa y cuantitativamente las comunidades del zooplancton.

Para la identificación de las taxa del zooplancton se utilizaron las referencias bibliográficas del Manual de zooplancton de Tregouboff & Rose (1957), Boltovsky (1981) y Gasca & Suárez (1996); De Boyd, S. (1977).

Resultados

En evento El Niño 2009-2010 según el Climate Prediction Center (CPC) de la NOAA, en la región Niño 3.4 comenzó en junio del 2009 y terminó en abril del 2010 (Tabla 2), mientras que en la región Niño 1+2 el evento El Niño se presentó durante cinco meses en el 2009 y durante el año 2010 hubo un episodio neutral hasta junio del 2010 (Tabla 3).

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Tabla 2. El Niño 2009-2010 (números rojos) en la región Niño 3.4, permaneció 11 meses.

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8
2010	1.7	1.5	1.2	0.8	0.0	-0.4						

Tabla 3. El evento El Niño en la región Niño 1+2 se presentó durante cinco meses en el 2009.

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
2009	0.1	0.0	-0.2	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.3	0.1	0.5	0.3
2010	0.3	0.0	0.2	0.6	0.1	0.0						

Antes del Evento El Niño 2009-2010.

Durante enero, febrero y marzo del 2009, que incluye la época lluviosa en el Ecuador, la mayor producción primaria superficial fue observada en el primer trimestre del 2009, se observaron los valores más altos de clorofila *a* en concentraciones mayores de 0,60 mg/m³ en aguas superficiales a 10 millas, frente a Salinas (2° S), en la costa ecuatoriana (Figura 2), mientras que a 10 millas de Manta (1° S), los valores más altos mayores a 0,70 mg/m³, fueron observados durante el mes de Marzo del 2009 a 30 m de profundidad (Figura 3).

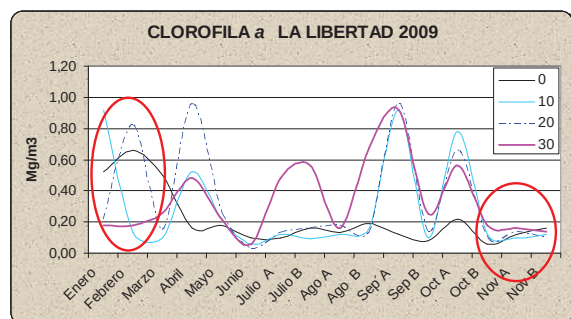


Figura 2. Se observa en febrero la mayor concentración de clorofila *a* - 0 m.

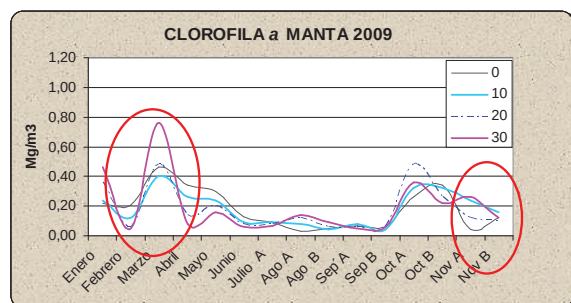


Figura 3. Se observa en marzo las mayores concentraciones de clorofila *a* - 30 m.

Las especies de fitoplancton, bioindicadores de masas de aguas frías como *Leptocylindrus danicus*

y *Rhizosolenia stolterfothii*, se presentaron con una alta abundancia en marzo-abril frente a Salinas y en menor densidad celular *Proboscia alata* que es típica de aguas cálidas (Figura 4). En la estación fija frente a Manta, la mayor abundancia de las especies de aguas frías fue observada en febrero y marzo, mientras que *Proboscia alata* especie típica de aguas cálidas se presentó con una baja abundancia relativa (Figura 5).

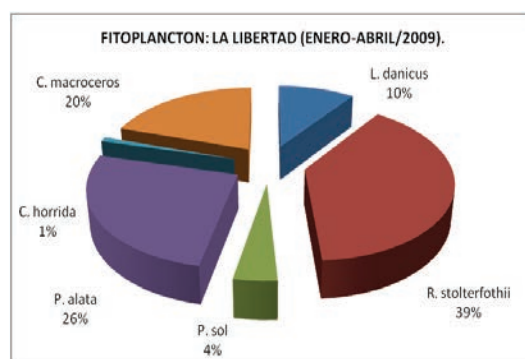


Figura 4. La especie de aguas fría *R. stolterfothii* predominó de enero a abril del 2009.

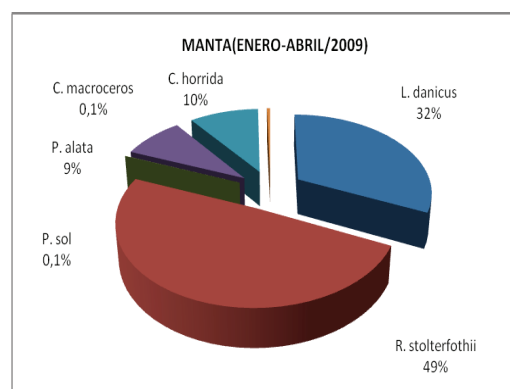


Figura 5. Especies de aguas frías y cálidas se observaron en Manta

En las especies zooplanctónicas (quetognatos), de enero a abril, predominaron las especies *Sagitta enflata* con el 54,6 % que es una especie cosmopolita y *Sagitta peruviana* con el 28% que

caracteriza la presencia de la corriente fría de Humboldt frente a Salinas (Figura 6). En Manta las especies de aguas cálidas como *Sagitta pacifica* con el 51,6 % predominaron sobre las especies de aguas frías habiendo una mezcla de masas de agua (Figura 7).

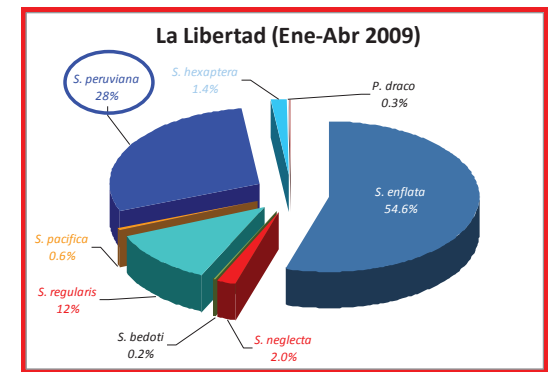


Figura 6. De enero-abril, predominaron especies frías como *S.peruviana*.

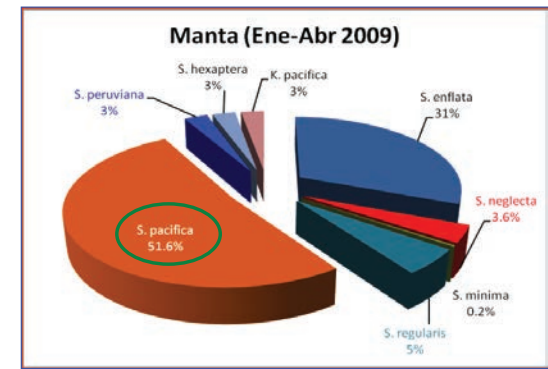


Figura 7. En Manta se observaron especies de aguas frías y cálidas como *S. pacifica*.

Algunas especies de Pterópodos y Heterópodos, indicadoras de aguas cálidas fueron observadas en febrero, pero con una abundancia mínima, que indican una ligera influencia de aguas cálidas, propias de la época lluviosa, las especies que se presentaron son: *Creseis acicula*, *Atlanta gaudichaudi* y *A.lesueuri*. En abril se detectó la presencia de especies como *Creseis virgula*, que indica una intrusión significativa de aguas oceánicas a la costa. La presencia mínima de una diversidad de especies de aguas cálidas en el mes de mayo, incluyendo *Atlanta turriculata* (Figura 8), refuerzan la presencia de un episodio cálido de un transición, hacia una época cálida que coincide con el inicio en el mes de abril/2009, del evento El Niño en la región Niño 1+2 (Tabla 2).

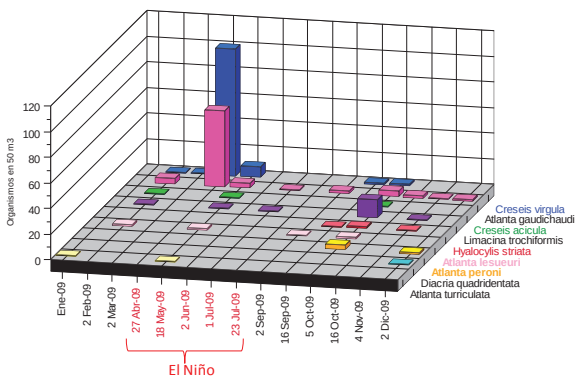


Figura 8. En la estación fija de “La Libertad”, pocas especies indicadoras de aguas cálidas se observaron antes y durante el evento El Niño (rojo), en la región Niño 1+2 en el océano Pacífico Oriental.

Evento El Niño 2009-2010.

De mayo a agosto, continuaron presentándose las especies fitoplanctónicas de aguas frías como *Leptocylindrus danicus* y *Rhizosolenia stolterfothii* en Salinas, (Figura 9) y en Manta las condiciones cálidas aumentaron con la presencia de *C. macroceros* (Figura 10).

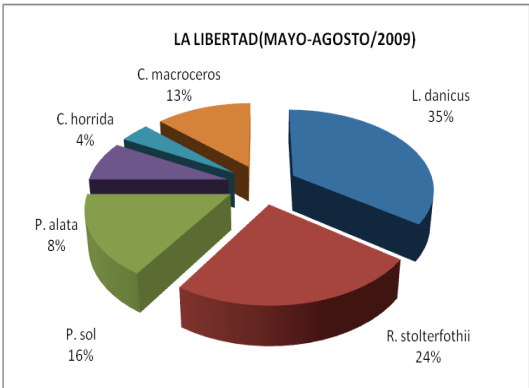


Figura 9. En La Libertad de Mayo a Agosto, las especies de aguas frías continúan predominando.

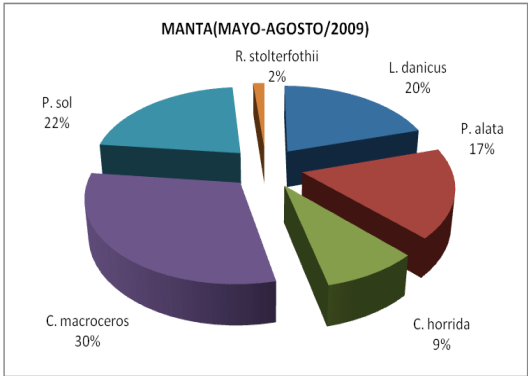


Figura 10. En Manta se observa una mayor influencia de especies de aguas cálidas.

Las especies zooplanctónicas como los Quetognatos, continuaron presentándose siendo

de aguas frías como *Sagitta peruviana* y *S. hexaptera* (Figura 11), aunque en menor porcentaje *Sagitta bedoti*, que indica aguas de mezcla en la Libertad, mientras que en Manta el porcentaje de las especies de aguas cálidas como *Sagitta neglecta* fue mayor; interpretándose que hay mayor mezcla de aguas frías y cálidas (Figura 12).

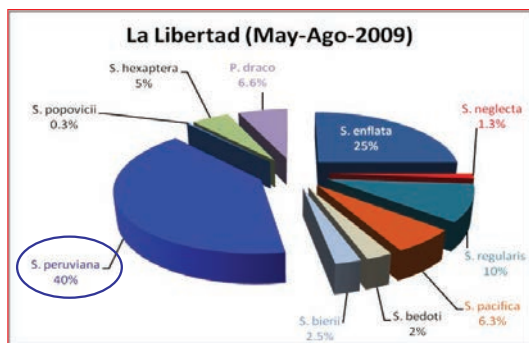


Figura 11. Entre mayo a Agosto continúan las especies de aguas frías en La Libertad.

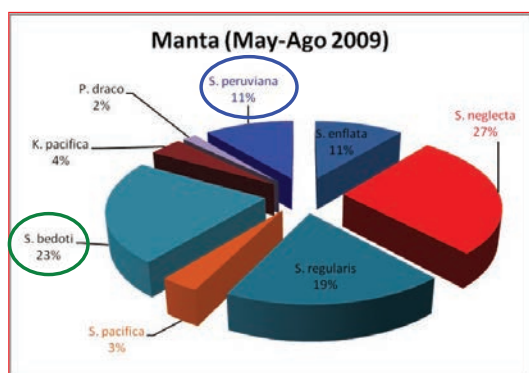


Figura 12. En Manta hay una mayor influencia de especies de aguas cálidas.

En Mayo se presentó una gran diversidad de especies de Pterópodos y Heterópodos con una abundancia mínima, que se relacionan con la presencia de aguas cálidas, frente a la costa ecuatoriana y la presencia de El Niño en la región Niño 1+2 (Figura 8).

Pero que no se mantuvo ni progresó hasta el mes de agosto desde septiembre a octubre se observó que las especies de fitoplancton de aguas frías como *R. stolterfothii* predominaron en La Libertad (Figura 13), mientras que en Manta disminuyeron las especies de aguas cálidas como *P. alata* aumentaron (Figura 14).

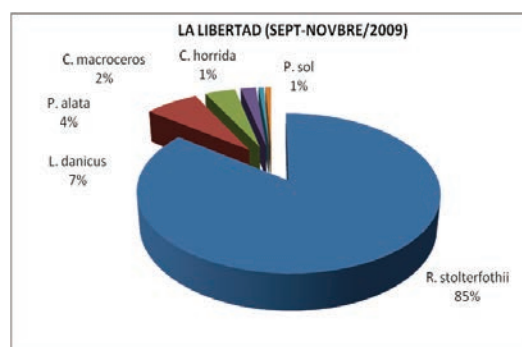


Figura 13. Entre septiembre-octubre especies predominaron en La Libertad.

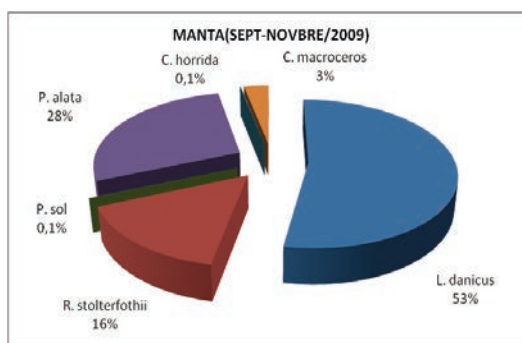


Figura 14. En Manta aumentaron las de aguas frías especies de aguas cálidas, *P. alata*.

Otras especies como *Sagitta neglecta* y *S. mínima* están caracterizando la presencia de masas de aguas cálidas típicas de ambiente nerítico- costero, lo refuerza el gran porcentaje de *S. bedoti* especie que se relaciona con aguas de mezcla para La Libertad (Figura 15). Esta misma presencia de especies de aguas cálidas y de mezcla se observa en Manta con la disminución del porcentaje de las especies de aguas frías (Figura 16).

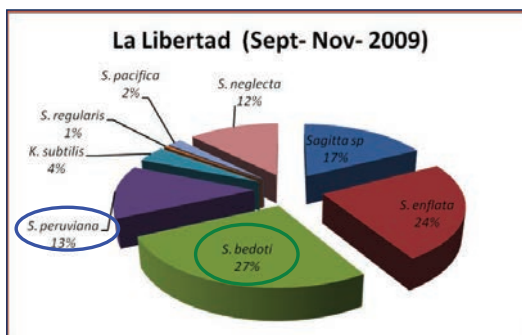


Figura 15. *Sagitta bedoti* indica aguas de mezcla para la estación de La Libertad.

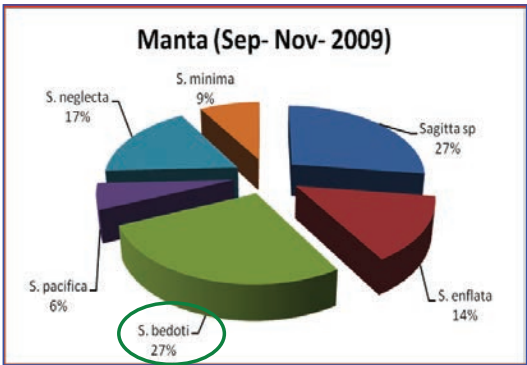


Figura 16. Las aguas de mezcla se mantiene en Manta, aumentando las especies cálidas.

La presencia de aguas cálidas y de mezcla para las dos estaciones fijas lo refuerza la presencia del Pterópodos *Hyalocylis striata*, especie indicadora de aguas cálidas (Figura 8), que se presentó como juvenil y la mínima abundancia, lo que indica la influencia de aguas cálidas tropicales y subtropicales, pero sin definir un episodio cálido estable y maduro hasta noviembre del 2009.

Desde enero hasta abril se observó que las especies de fitoplancton de aguas cálidas como *P. alata* y *Ceratium macroceros* predominaron en La Libertad (Figura 17), mientras que en Manta se registró un incremento significativo de las especies de aguas cálidas como *P. alata* (Figura 18).

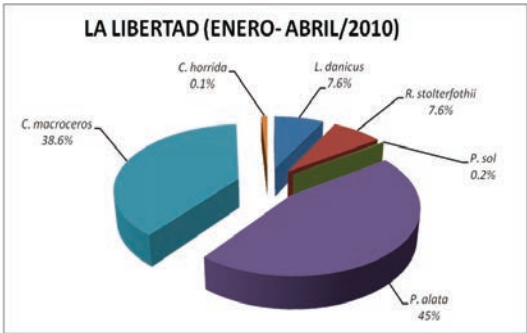


Figura 17. En La Libertad se observó incremento de *Proboscía alata* y *Ceratium macroceros*, típicas de aguas cálidas.

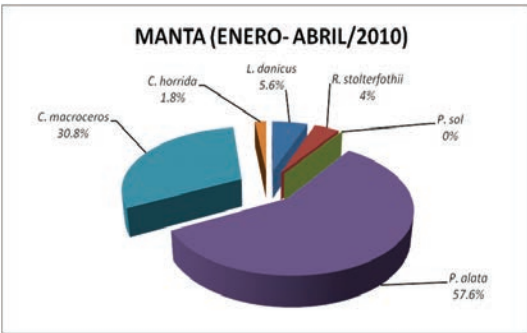


Figura 18. En Manta se observó una dominancia de *Proboscía alata*.

En La Libertad durante el segundo cuatrimestre se registró la dominancia de *Planktoniella sol* y *Proboscía alata*, indicadoras de aguas cálidas (Figura 19). Mientras en Manta se observó una intrusión de agua fría registrando la dominancia de *Leptocylindrus danicus* y en menor densidad celular a *Proboscía alata* (Figura 20).

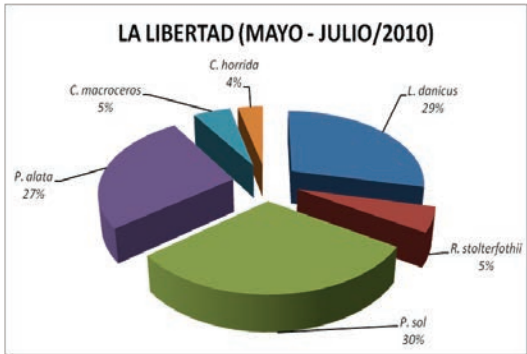


Figura 19. En La Libertad se observó la dominancia de *Planktoniella sol*.

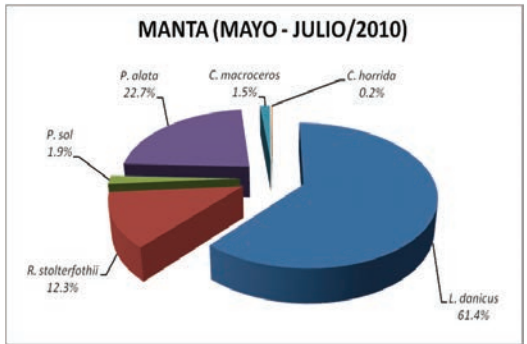


Figura 20. En Manta se registró la presencia de especies de agua de mezcla.

En La Libertad, durante los meses de enero-abril de 2010, se presentaron una elevada diversidad de especies de quetognatos, estableciéndose las especies *S. enflata* y *S. bedoti* con la mayor abundancia relativa con valores de 45% y 18% respectivamente. Especies de ambiente oceánico y cálido se registraron durante este período, tales como *Pterosagitta draco* 14%, *S. regularis* 6%, *S. pacifica* 2% y *Krhonitta pacifica* 1%, esta asociación de especies indica una fuerte intrusión de aguas cálidas y oceánicas provenientes de región del Pacífico Central.

La presencia de las especies *S. neglecta* 5% y *S. mínima* 1%, se interpreta como la presencia de Aguas Tropicales Superficiales provenientes de la Cuenca de Panamá y su abundancia son normales durante la época húmeda (Naranjo, 2006).

Adicionalmente se reportó la presencia de especies típicas de aguas frías tales como *S. peruviana* 5%, *K. subtilis* 2% y *S. popovicii* 1%, lo que indica que a nivel subsuperficial se observó una ligera intrusión de aguas frías de la Corriente de Humboldt (Figura 21).

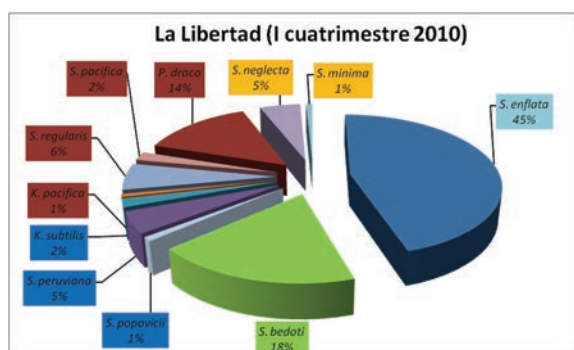


Figura 21. Composición y abundancia de las especies de quetognatos en la estación fija La Libertad durante enero-abril de 2010.

En Manta durante la época húmeda de 2010, se determinó la mayor abundancia de las especies *S. enflata* 39%, y *S. bedoti* 28%. Asociada a estas especies se observaron la presencia de las especies *S. neglecta* 17%, *S. minima* 10%. Estas especies son típicas de Aguas Tropicales Superficiales siendo más abundante en la localidad de Manta, que en La Libertad.

Adicionalmente se registraron durante enero – abril de 2010, especies típicas de aguas cálidas oceánicas representadas por el conjunto de especies tales como *P. draco* 2%, seguido de *K. pacifica* 2%, *S. pacifica* 2% y *S. regularis* 0.8%.

En Manta, se determinó una esporádica presencia de especies de aguas frías, principalmente *S. peruviana*. (Figura 22)

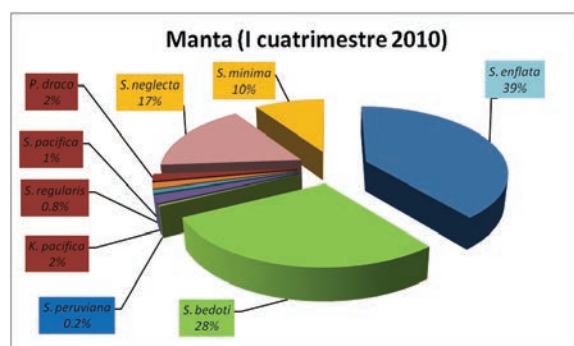


Figura 22. Composición y abundancia de las especies de quetognatos en la estación fija Manta durante enero-abril de 2010.

Después del Evento de El Niño.

En la región Niño 1+2 del Pacífico Oriental, el episodio neutral o post Niño comenzó desde septiembre del 2009 hasta julio del 2010 (Tabla 1), período en que las especies indicadoras de aguas cálidas, se presentaron frente a la costa ecuatoriana, con una mínima abundancia porque en la región Niño 3,4 del Pacífico Central, continuaba con un evento cálido, que terminó en abril del 2010 (Tabla 2). A partir de mayo hasta julio del 2010, frente al Ecuador disminuyó la diversidad de especies de aguas cálidas, se ausentó *H. striata* y aumentó la abundancia de *Limacina trochiformis*, especie que caracteriza las aguas costeras.

Durante el período de mayo a julio, en La Libertad se determinaron un incremento de la diversidad de especies típicas de aguas frías, registrándose la asociación de las especies *S. peruviana* 6%, *K. subtilis* 3%, *S. popovicii* 2%, y *S. bierii* 2%, en comparación a la época húmeda. Sin embargo aún persisten especies que tipifican un núcleo de aguas cálidas en el estrato desde los 50m hasta la superficie con la presencia de la especie *S. neglecta* con 13%. Adicionalmente se registró a *S. bedoti* con un 20%, esta especie caracteriza una mezcla de aguas frías y cálidas y que su mayor abundancia se incrementa durante las etapas de transición (Figura 23).

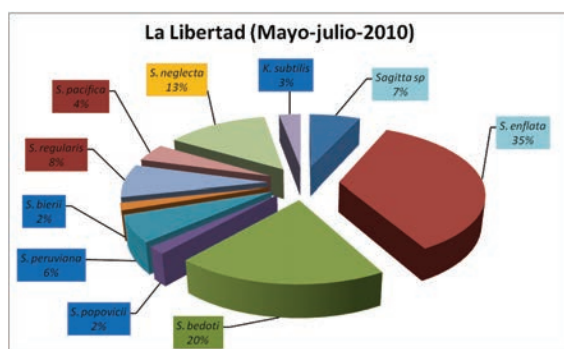


Figura 23. Composición y abundancia de las especies de quetognatos en la estación fija La Libertad durante mayo-julio de 2010.

En Manta, durante mayo a julio de 2010, se reporta la dominancia de la especie *S. bedoti* con 32%, que es una especie que caracteriza procesos de mezcla de aguas cálidas y frías, producto de la presencia de *S. neglecta* 31%, que tipifica la presencia de Aguas Tropicales Superficiales y con una menor abundancia relativa las especies *S. peruviana* 5% y *S. popovicii* 0.4% que caracterizan

la presencia de la Corriente de Humboldt (Figura 24).

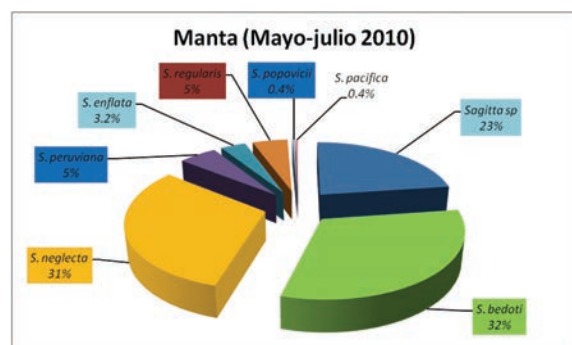


Figura 24. Composición y abundancia de las especies de quetognatos en la estación fija Manta durante mayo-julio de 2010

Las especies de Pterópodos y Heterópodos después del evento El Niño 2009 – 2010, no se ha vuelto a observar a *Hyalocylis striata* en La Libertad, pero si se han observado otras especies que están relacionadas con aguas cálidas como *Creseis acicula*, *Atlanta lesueuri* y *Atlanta peroni*, pero se ha incrementado en abundancia *Limacina trochiformis*, indicando un desplazamiento de Aguas Tropicales del norte del país, hacia el sur del Ecuador llegando su influencia hasta La Libertad. La ausencia de *Hyalocylis striata*, especie relacionada con Aguas Subtropicales, coincide con la disminución en abundancia de *Creseis virgula*, especie que indica la presencia de aguas oceánicas cerca de la costa ecuatoriana (Figura 25).

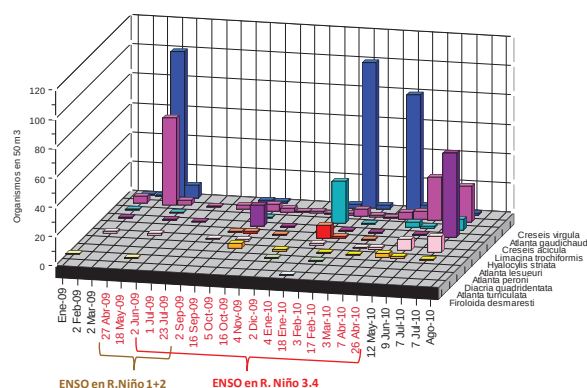


Figura 25. En evento El Niño terminó en abril del 2010 (rojo), después han continuado presentándose algunas especies de aguas cálidas

DISCUSIÓN

- Las concentraciones de clorofila *a* durante el 2009, nos indica que en el primer trimestre del 2009, el mar ecuatoriano presentó una alta productividad primaria y en los últimos meses del

año, mientras que desde septiembre a noviembre se observaron las más bajas concentraciones de clorofila *a*, tanto en la estación fija de La Libertad como en Manta.

- Dinoflagelados del fitoplancton, los Quetognatos, Pterópodos y Heterópodos del zooplancton frente a la costa del Ecuador continental indican que desde enero a abril, predominaron las especies de aguas frías como *Leptocylindrus danicus* y *Rhizosolenia stolterfothii*, y *Sagitta peruviana*, mientras que las especies de aguas cálidas como *Proboscia alata*, *Sagitta neglecta* estuvieron en menor porcentaje.

- Entre mayo a Agosto se hicieron presentes las mismas especies con porcentajes diferentes, predominando las especies de aguas de mezcla como *Sagitta bedoti*, y se presentó en Mayo una gran diversidad de especies de Pterópodos y Heterópodos, que indican un cambio hacia condiciones cálidas, que no progresó ni se mantuvo durante el 2009.

- Desde Septiembre a Noviembre muchas especies como *Ceratium macroceros* indican la presencia de aguas cálidas, otras especies como *Sagitta bedoti* han aumentado su porcentaje e indican la presencia de aguas de mezcla y especies como *Hyalocylis striata* indican la influencia de aguas cálidas y subtropicales cerca de la costa, pero que no han progresado ni se han estabilizado hasta noviembre del 2009.

- Durante el segundo semestre del año 2009, mientras se ha estado desarrollando un evento Cálido de El Niño en la región 3,5 del Pacífico central, frente a las costa de Ecuador, han prevalecido condiciones frías y de mezcla, influenciadas por el ecosistema de Humboldt y Aguas Tropicales provenientes del norte. Desde septiembre hasta noviembre, han incorporado las especies de aguas de mezcla, especies subtropicales, pero sin definir la presencia de un episodio frío o cálido.

- Las especies de fitoplancton que están relacionadas con masas de aguas frías, son coincidentes con las especies de zooplancton, que indican la presencia de aguas frías, durante el primer y último trimestre del 2009, cuando

en la región 1+2 no había el evento El Niño, de igual forma cuando las especies de dinoflagelados aumentan, indica la presencia de aguas cálidas, hay una correlación directa con la presencia de especies de aguas cálidas y de agua de mezcla.

- Las especies del zooplancton como Quetognatos, Pterópodos y Heterópodos, pueden ayudar a interpretar con más detalles, las masas de agua que se encuentran frente a la costa Ecuatoriana cuando se analiza el estado de desarrollo de la especie como ejemplo *Hyalocylis striata*, que siempre está relacionada a masas de aguas cálidas, durante el 2009 sólo se observaron estados juveniles, que indican una ligera intrusión de aguas oceánicas subtropicales con aguas tropicales hacia la costa ecuatoriana.

- Durante los primeros meses del año 2009, se presentaron en La Libertad, un conjunto de especies de quetognatos, siendo la más abundante *S. enflata* y *S. peruviana*. Con el grupo de las diatomeas se presentó abundante la especie *R. stolterfothii* que caracterizan un ecosistema típico de aguas frías. Naranjo (2006) menciona que las especies *S. peruviana*, *S. bierii* y Tapia (2006) señala que *Chaetoceros affinis* y *Rhizosolenia stolterfothi*. Estas especies de quetognatos y diatomeas son típicas aguas frías y caracterizan la presencia de la Corriente fría de Humboldt.

- En Manta, se empezó a registrar especies de quetognatos con mayor abundancia *S. pacifica* asociada a *S. regularis*, y *K. pacifica*; en el caso de las diatomeas con *C. horrida*, *P. alata* que son especies tipifican la incursión de aguas cálidas oceánicas a 10 millas frente al Ecuador.

- Naranjo, (2006) señala que durante el evento El Niño 1997-1998, las especies *S. bipunctata*, *S. regularis* y *P. draco* mostraron una tendencia a preferir aguas cálidas y oceánicas típicas de las Aguas Tropicales Subsuperficiales.

- En la región Niño 1+2, durante enero- abril de 2009, se presentaron valores de TSM cercano a la normal, y en la región Niño 3+4 los valores de la TSM fueron de -0.8 a -0.1.

- Durante los siguientes meses de 2009 se reportó la presencia de especies fitoplanctónicas tales como *Leptocilindrus danicus* y *Rhizosolenia*

stolterfothii que son especies típicas de aguas frías. Las especies de quetognatos presentaron una mezcla de especies tales como *S. peruviana*, *S. hexaptera*, *S. bierii* y *S. popovicii* típicas de aguas frías, y entre las especies cálidas se registraron *S. neglecta*; además de las especies *S. regularis*, *S. pacifica*, *Pterosagitta draco*, son especies típicas de aguas cálidas y oceánicas.

- Durante el período de enero a abril de 2010, se presentaron las especies *P. sol*, *L. danicus* *C. macroceros* típicas de aguas cálidas siendo con mayor abundancia en Manta, un patrón muy similar se presentó con las especies de quetognatos.

- Durante los meses de mayo a julio del 2010, se continuó con la presencia especies de *P. sol* y *L. danicus* en la Libertad y Manta aún se mantienen presentes y asociadas a la presencia de *R. stolterfothi* que es una especie típica de aguas frías que caracterizan procesos de mezcla a 10 millas costa afuera.

- En La Libertad, las especies de quetognatos presentaron un mayor número de especies reportándose especies de aguas frías tales como *S. peruviana*, *K. subtilis*, *S. popovicii*, y *S. bierii*, observado.

- En Manta predomina la presencia de *S. bedoti*, que es una especie que caracteriza procesos de mezcla de aguas cálidas y frías durante el período de mayo a julio del 2010, adicionalmente que caracteriza una elevada productividad zooplanctónica.

- Antes del evento El Niño 2009-2010, en la región Niño 1+2 que se presentó de abril a agosto del 2009, las especies relacionadas con aguas cálidas como *Creseis acicula* y *Atlanta peroni*, tuvieron presencia con una mínima abundancia. Durante El Niño (abril a agosto 2009), estuvo ausente *Hyalocylis striata* porque las anomalías de la temperatura superficial no superó los 0.8°C y esta especie se presenta siempre cuando las anomalías es igual o mayor de 0.9°C.

- En la región Niño 3.4 cuando las anomalías de la temperatura superficial, fue igual o mayor a 0.9°C que comenzó en septiembre del 2009 hasta marzo del 2010, la especie *Hyalocylis striata* se presentó mas frecuente y aumentó la diversidad de especies de aguas cálidas.

Después del evento El Niño, se ausentó *H. striata*, pero continuaron presentándose *Creseis acicula*, *Atlanta lesueuri* y *Atlanta peroni*, indicando la permanencia de aguas cálidas frente a la costa, pero por la influencia de Aguas Tropicales del norte y no por Aguas Subtropicales.

BIBLIOGRAFIA:

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

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

Cruz, M. 1983. Presencia de Pterópodos Tecosomados en el Golfo de Guayaquil. ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO. Vol. 2, No. 1, pp. 179-186.

Cruz M. 1996. Pterópodos y Heterópodos (Gasterópodos) como Bioindicadores del Evento "El Niño" 1992, en la estación "fija" de "La Libertad", Ecuador. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 8, No. 1, pp. 51 - 56.

Cruz, M. 1998. Gasterópodos planctónicos (Pterópodos y Heterópodos) como bioindicadores de los Eventos "El Niño" 1992 y 1997-1998 en la estación fija "La Libertad", Ecuador. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 9, No. 1, pp. 129-144

Cruz, Manuel., 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, ISSN 0717-652X. Página electrónica: www.SCIELO.cl

Cruz, M. 2005 - 2006. Determinación de los períodos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña), en base al comportamiento mensual de los Pterópodos y Heterópodos, como Bioindicadores del ecosistema marino Ecuatoriano. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 13, No. 1, pp. 99 - 115

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

Gasca, R. & E. Suárez. 1996. Introducción al zooplancton marino. ECOSUR- CONACYT, México: 1-711.

Keen, M. 1971. Sea shells of tropical West America; Marine mollusks from Baja California to Perú. Second edit. Stanf. Univ. Calif., pp. 1-1064.

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

Moreano H., E. Zambrano, R. de Suescum y N. Paredes 1986. El Niño 1982-1983, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR-Ecuador, Vol. 3(1), pp. 1-23.

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

Naranjo, C., 2006. Variaciones temporales del phylum Quetognatos en las estaciones fijas La Libertad y Manta, Ecuador durante el evento El Niño 1997-1998 y años 2002 - 2003. Tesis Doctoral. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales: 1-111.

Pesantes, F., 1983. Dinoflagelados del Fitoplancton del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Ecuador, 2(2): 283-399.

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

Semina J., 1978. Manual of Phytoplankton. Edited by Sournia- UNESCO: 181.

Sweatt A., 1980. Chaetognaths in lower Nagerragansett Bay. Estuaries. Vol. 3(2): 106-110.

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

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

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): 1-8.

Internet:

(1) <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis-monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>.

(2) (<http://www.imn.ac.cr/educa/ENOS-2.htm#INTRODUCCIÓN>).

LA CLOROFILA *a* COMO UN INDICADOR BIOLÓGICO EN LAS ESTACIONES FIJAS DURANTE EL EVENTO LA NIÑA 1999-2000.

María Elena Tapia ⁽¹⁾

Christian Naranjo ⁽¹⁾

RESUMEN

*Se analizaron un total de 58 muestras en La Libertad y 54 muestras de agua marina costera en Manta durante el evento La Niña 1999 - 2000. Se elaboraron mapas de distribución de clorofila *a*, y la relación con los parámetros físicos y químicos.*

*Las condiciones físicas durante el desarrollo del evento La Niña 1999 - 2000, no siguieron un patrón definido, sino que han presentado características particulares para cada región del océano Pacífico Sur. En Ecuador se observó que la productividad biológica aumentó considerablemente en La Libertad durante el año 2000 existiendo la presencia de afloramientos con núcleos de clorofila *a*, altas concentraciones celulares e incremento de la abundancia relativa de importantes especies de diatomeas.*

Palabras Claves: *Clorofila, Productividad, Distribución, Eventos.*

ABSTRACT

We analyzed a total of 58 samples and 54 samples of marine water La Libertad and Manta coastline during the event La Niña 1999-2000.

*Were mapped distribution of chlorophyll *a*, and the relationship with the physical and chemical parameters.*

The physical conditions during the course of the event La Niña 1999 - 2000, they did not follow a definite pattern, but have presented specific characteristics for each region of the South Pacific.

In Ecuador it was found that the biological productivity rose significantly in La Libertad in 2000 outcrops exist in the presence of chlorophyll cores, high cell concentrations and increased relative abundance of major diatom species.

Key Words: *Chlorophyll, Productivity, Distribution, Events.*

⁽¹⁾Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), Base Naval Sur, Guayaquil

INTRODUCCION

El elemento nutricional del fitoplancton es la clorofila como resultado de su fotosíntesis, es usualmente indicadora de la Productividad Primaria, y el principal recurso directo o indirecto nutricional para todos los organismos marinos y pesquerías.

Todas las plantas contienen clorofila *a*, su concentración nos da una visualización sobre la abundancia de productores primarios que crecen en todos los tipos de agua. Por lo tanto, la determinación de clorofila es uno de los índices de monitoreo de la salud de un sistema natural la cual es utilizada por los investigadores y técnicos en todos los ambientes acuáticos (King, 1966).

La producción primaria se puede expresar en términos de energía (ergios, calorías por unidad de superficie y de tiempo) o en términos de materia orgánica sintetizada, parte de esta producción primaria es respirada, la que representa un aumento de la biomasa de los productores primarios, se designa como producción neta (Margalef, 1972).

La clorofila *a* es una medida de los pigmentos verdes y de la biomasa del fitoplancton.

La desventaja de esta técnica es que no podemos saber cuáles son las especies fitoplanctónicas presentes en el área.

AREA DE ESTUDIO

Los monitoreos se efectuaron en dos estaciones fijas costeras (Figura 1), con un total de 58 estaciones en La Libertad y 54 estaciones costeras en Manta con una periodicidad mensual en La Libertad y cada 40 días en Manta, en las lanchas Popeye y Pájaro azul de la Armada del Ecuador. El Programa ERFEN-INOCAR-ECUADOR, inició monitoreos mensuales costeros (10 millas costa afuera), en La Libertad desde diciembre de 1988 y en Manta desde agosto de 1991, sobre los primeros niveles tróficos fitoplancton y zooplancton, información que ha sido expuesta en las Reuniones CPPS-ERFEN.

La posición geográfica de las dos estaciones fijas corresponden:

La Libertad 02° 04' 00'' sur - 81° 05' 21'' W y Manta 00° 52' 00'' sur - 80° 49' 00'' W

Situadas a 10 millas y 8 millas de la costa respectivamente, las estaciones están influenciadas por diferentes corrientes marinas del Océano Pacífico sureste, las masas de aguas cálidas tropicales superficiales provenientes del norte con temperaturas mayores de 25°C, comienzan a fines de diciembre hasta abril asociados a un período de lluvias (época húmeda).

Desde el sur ingresan masas de aguas frías de la Corriente de Humboldt coincidente con un fuerte período dominante de los alisios del sureste desde mayo hasta diciembre (época seca), son los principales factores que provocan una variabilidad estacional (verano e invierno) y anual durante eventos El Niño (Moreano, 1983).

La distribución del plancton marino costero, está regulada por las condiciones estacionales influenciadas directamente por la posición del Frente Ecuatorial, Zonas de Convergencia Intertropical (ZCI) y disponibilidad nutricional por las cercanías de los afloramientos costeros (Jiménez y Bonilla, Op.cit).

Bayot y Cornejo (1996), mencionan que la circulación costera de La Libertad está retribuida con ondas energéticas propagadas continuamente desde áreas oceánicas, con diferentes periodicidades (40-60 días; 6.8 a 7.5 días, 14.5 días) sugiriendo la presencia de las Ondas Kelvin y Ondas Rossby, registradas durante 1985 a 1988.

Valencia y Rodríguez (1996), mencionan que la distribución estacional en Manta de las diversas masas de agua, en 1991, indica que en forma similar a la zona de Santa Elena, las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) se presentan en la capa superficial y las Corrientes Frías de Humboldt en la capa más profunda, pero a finales de año, reemplazando las AES, en la capa superficial se evidencia la presencia de ATS, como preámbulo a la aparición de "El Niño 1992".

Zambrano (1998), describe la estructura térmica mensual - anual desde 1990-1997 en La Libertad, determina que la termoclina de 20°C representa

su relación con la estructura térmica del Pacífico Sureste, con un comportamiento similar durante eventos ENOS de 1991, 1992 y 1997, así como durante las fases frías de 1996. Además, manifiesta que durante un episodio ENOS la costa del Ecuador es frecuentada por ondas ecuatoriales internas Kelvin.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información colectada por INOCAR en los muestreos mensuales en las estaciones fijas (Figura 1), a bordo de embarcaciones de la Armada Nacional dotadas generalmente de ecosondas para determinar la profundidad. Se monitoreó un total de 58 muestras de agua marina en La Libertad y 58 muestras costeras en Manta. En cada salida se colectaron muestras de agua con botellas Van Dorn (de 5 Litros), para análisis de clorofila *a*, en 6 niveles de profundidad 0, 10, 20, 30, 40 y 50 m.



Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones fijas La Libertad y Manta durante los años 1999-2000.

Clorofila *a*

Para los análisis de pigmentos se filtró un litro de agua de mar a cada nivel de profundidad, previamente se colocan filtros de fibra de vidrio de 47 mm en el set de filtración y, con la ayuda de la bomba al vacío se procede a filtrar la muestra. Cada filtro es colocado en un frasco de vidrio con 10 ml de acetona al 90% cubiertos con papel aluminio y refrigerados por 24 horas (agitando de vez en cuando). Las muestras son centrifugadas y

leídas las densidades ópticas en un Fluorómetro TURNER. Para los cálculos de clorofila *a* se emplearon las ecuaciones de SCOR-UNESCO Working Group 17 (1966), las cuales se detallan a continuación:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = F \times 1.83 \text{ (sa-ca)} [v/V]/100]$$

$$\text{Feopigmentos (mg/m}^3\text{)} = F \times 1.83 [2.2x \text{ (ca-sa)} [v/V]/100]$$

Detallándose la fórmula:

F = Coeficiente de sensibilidad de cada puerta

sa = Fluorescencia de la muestra antes de la acidificación (clorofila *a*)

ca = Fluorescencia de la muestra después de la acidificación (feofitinas)

v = Volumen del extractor acetona al 90%

V = Volumen del agua de mar filtrada

Las muestras de clorofila se obtuvieron a bordo de cada muestreo. Los gráficos de distribución superficial y vertical se realizaron en el Programa Surfer.

Tabla 1. Escala de Clorofila *a* : Producción Primaria, expresado en mg/m³ (Tapia, 2006).

Rangos	Productividad
< 0.20 mg/m ³	Clorofila = Aguas de baja productividad
0.20 – 0.50 mg/m ³	Clorofila = Aguas ligeramente productivas
> 0.50 mg/m ³	Clorofila = Aguas productivas

RESULTADOS

Distribución superficial y subsuperficial de Clorofila *a*

La Libertad 1999: A nivel superficial para agosto y diciembre, los valores de clorofila *a* se incrementaron significativamente, con rangos entre 1.62 a 2.02 mg/m³, registrando dos núcleos de mayor concentración; en junio, se observaron las menores concentraciones de clorofila con 0.16 mg/m³.

En el estrato subsuperficial a los 20 m de profundidad la mayor concentración fue en mayo con 0.86 mg/m^3 , la menor fue en febrero con 0.12 mg/m^3 (Figura 2).

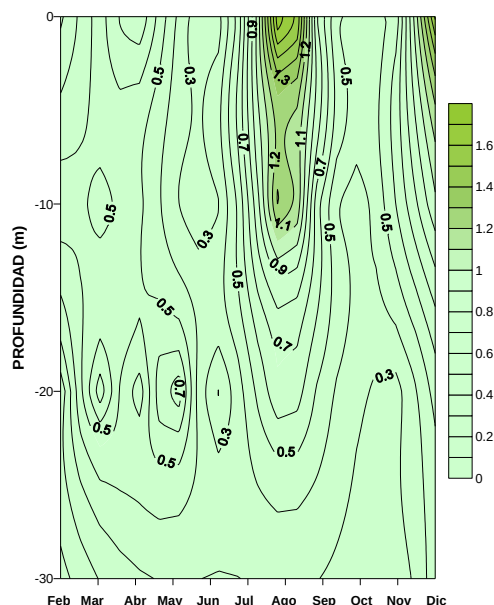


Figura 2. Distribución mensual de clorofila *a* en (0-10-20m de profundidad), en La Libertad durante 1999.

A los 50 m se observó un núcleo clorofílico con 1.26 mg/m^3 , tanto que el menor valor se registró en octubre con 0.12 mg/m^3 , (Figura 3).

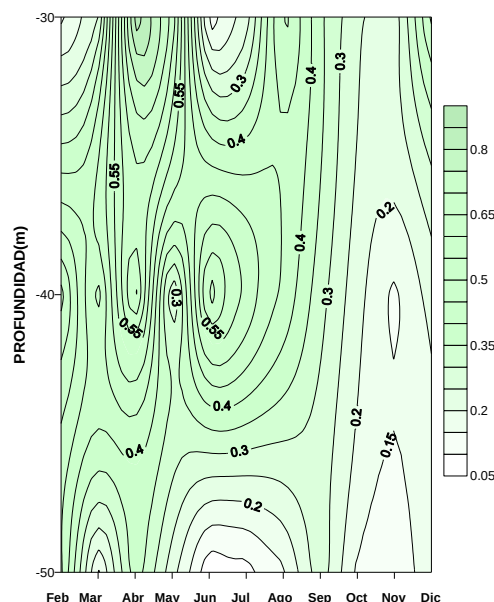


Figura 3. Distribución mensual de clorofila *a* en (30-40-50m de profundidad), en La Libertad durante 1999.

La Libertad 2000: A nivel superficial para mayo, junio, julio y agosto, se observaron núcleos con rangos entre 1.26 - 1.44 - 1.76 y 2.12 mg/m^3 ,

estos valores de clorofila estuvieron asociados a temperaturas de 21.36°C a 21.41°C . La menor concentración fue en marzo con 0.22 mg/m^3 .

A nivel subsuperficial de los 20 m los promedios de temperatura fueron entre 21.23°C a 22.74°C , se registraron algunos núcleos de clorofila con rangos entre 1.04 - 1.34 - 1.36 - 1.44 - 1.68 mg/m^3 en los meses de junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, la menor concentración fue en febrero con 0.16 mg/m^3 (Figura 4).

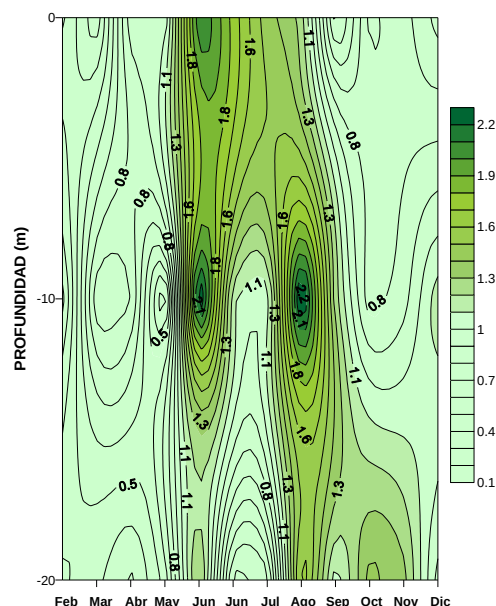


Figura 4. Distribución mensual de clorofila *a* en (0-10-20 m de profundidad), en La Libertad durante el año 2000.

A los 50 m la mayor concentración fue en octubre con 0.44 mg/m^3 y la menor en julio con 0.08 mg/m^3 (Figura 5).

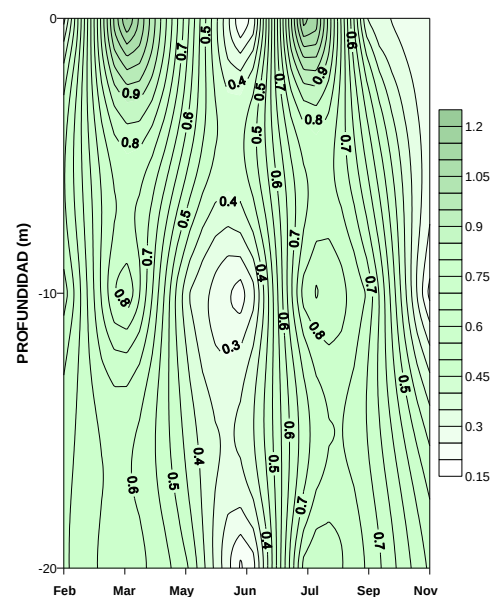


Figura 5. Distribución mensual de clorofila *a* en (0-10-20m de profundidad), en Manta durante 1999.

Manta 1999: A nivel superficial en marzo y julio se observaron dos núcleos con rangos entre 1.22-1.24 mg/m³, mientras que la menor fue en junio con 0.16 mg/m³.

A los 20 m de profundidad la máxima concentración fue en julio con 0.86 mg/m³, el menor valor fue en junio con 0.16 mg/m³ (Figura 6).

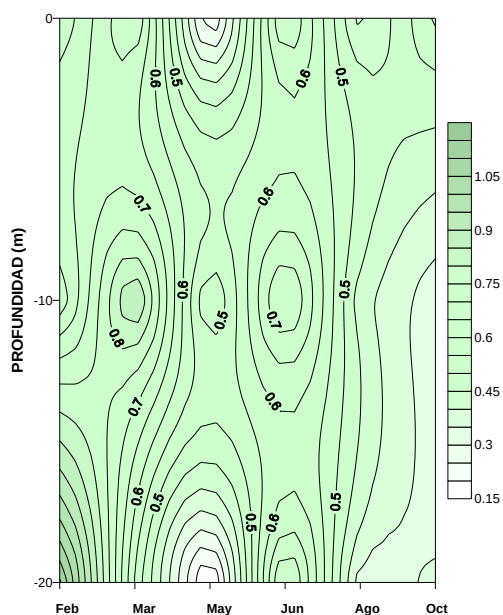


Figura 6. Distribución mensual de clorofila a en (0-10-20m de profundidad), en Manta durante el año 2000.

A los 50 m la mayor concentración fue en julio con 0.42 mg/m³, mientras que la menor fue de 0.12 mg/m³ en el mismo mes (Figura 7).

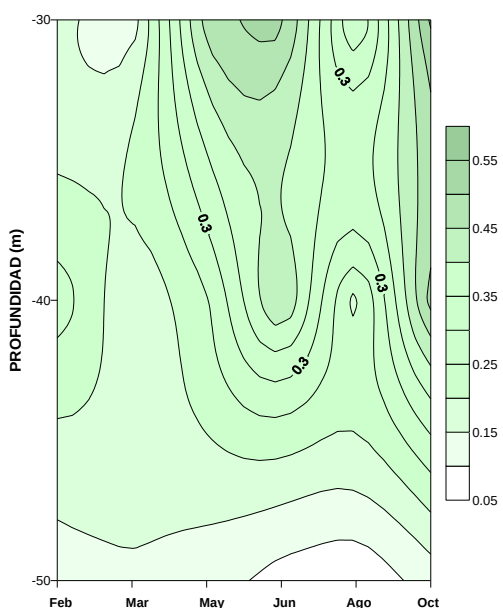


Figura 7. Distribución mensual de clorofila a en (30-40-50m de profundidad), en Manta durante 2000.

Manta 2000: A nivel superficial la mayor concentración fue en marzo con 0.76 mg/m³ y la menor en mayo con 0.18 mg/m³.

A los 20 m en el mes de febrero se evidenció un núcleo de clorofila con 1.16 mg/m³, mientras que la menor concentración fue en mayo con 0.12 mg/m³(Fig).

En el estrato de los 50 m la mayor concentración fue en marzo con 0.14 mg/m³ y la menor concentración en agosto con 0.06 mg/m³ (Figura 8).

DISCUSIONES

Existen pocos trabajos de clorofila realizados en las estaciones fijas La Libertad y Manta, sin embargo se realizó una recopilación de la información en ésta área del mar ecuatoriano.

Seguramente el pico del afloramiento se inició en julio de 1999, con valores entre 0.64 a 0.68 mg/m³; es en agosto donde se registraron los valores más altos de clorofila de 1.05 mg/m³.

Desde los 20 m de profundidad hasta la superficie, los valores más altos entre 0.98 y 1.46 mg/m³ se registran entre la superficie y los 15 m de profundidad. Este pico del afloramiento se registró hasta septiembre de 1999.

A partir de noviembre de 1999 se presenta un segundo pico con concentraciones entre 0.54 y 0.98 en la columna de agua entre la superficie y los 25 m de profundidad.

En todos los meses de 1999 muestreados los valores menores a 0.50 mg/m³ se registran entre los 30 y 50 m de profundidad.

En La Libertad a partir de mayo (2000) se observa un fuerte proceso de afloramiento, el cual se intensifica en el mes de julio con el máximo de clorofila entre 1.1 y 2.2 mg/m³ en la columna de agua entre la superficie y los 20 m de profundidad. Este intenso pico del afloramiento continúa hasta agosto de 2000 con un núcleo de un máximo de clorofila de 2.2 mg/m³ se intensifica en el mes de julio con el máximo de clorofila entre 1.1 y 2.2 mg/m³ a los 10 m de profundidad con valores altos hacia la superficie y en profundidad hasta

los 20 m de profundidad. Este núcleo de fuerte afloramiento se extiende hasta septiembre, el cual va decayendo gradualmente en superficie hasta diciembre del mismo año. Sin embargo los valores entre la superficie y los 20 m son relativamente altos para este período.

El núcleo del afloramiento registrado en julio, agosto y septiembre de 2000 se observa que este bloom parcialmente se encuentra subsuperficial en los estratos inferiores entre 30 y 50 m de profundidad en los meses subsiguientes de octubre hasta noviembre con valores registrados en profundidad con 0.5 y 0.8 mg/m³.

En la estación fija de Manta durante 1999 no se observó la intensidad de los afloramientos como en la estación de La Libertad. Aunque se registran valores relativamente altos de clorofila en los meses de marzo, mayo y entre junio, julio y septiembre en la columna de agua entre 0 y 20 m de profundidad.

Desafortunadamente no se realizaron muestreos en el " mes de agosto " por lo tanto no se puede confirmar si este proceso se registró con intensidad en Manta en el mes de agosto como en La Libertad a partir de septiembre se registra un decaimiento en la concentración de clorofila entre la superficie y los 20 m así como en los estratos inferiores.

En Manta durante el 2000 también se registraron valores relativamente altos de clorofila en marzo con valores entre 0.76 y 0.92 mg/m³.

Posteriormente en junio se presenta un valor relativamente alto de clorofila entre 0.72 y 0.79 mg/m³ entre la superficie y los 20 m. de profundidad concentraciones menores se registraron en agosto y octubre del mismo año. Así como en los niveles inferiores entre los 30 y 50 m. de profundidad para los meses del año 2000.

Peribonio (1981), en su estudio del fitoplancton determinó que en la capa superficial registró concentraciones de clorofila *a* con rangos entre 0.50 y 2.50 mg/m³, destacando que la menor concentración fue registrada en las estaciones localizadas cercanas a la Puntilla de Santa Elena.

Según Jiménez (1978), destaca que los valores de clorofila *a* superior a 5.5 mg/m³ de clorofila *a* registrados al oeste de las islas Galápagos en áreas de alta productividad clorofílica obedecen a procesos de surgencias o afloramientos.

Guillén y Calienes (1978) han demostrado que la intensidad de los afloramientos costeros varían de acuerdo a posición geográfica y estación del año y se identifican por medio de la distribución latitudinal de la temperatura.

Es posible que durante la época seca del año 2000, las condiciones oceanográficas registradas en La Libertad se presentó favorable en junio y agosto determinándose una elevada concentración de clorofila *a* y biomasa celular; estas condiciones biológicas estuvieron asociadas a bajas temperaturas en la capa superficial en agosto del año 2000 representado por 21.4 °C y subsuperficial a 10 m de profundidad con un promedio de 21.1°C.

Otros investigadores Peribonio (1982) señalan que en las estaciones cercanas al Cabo de San Lorenzo, en la capa superficial registró valores de clorofila *a* entre 0.2 y 0.4 mg/m³ determinando una baja productividad.

CONCLUSIONES

- Se observó que existe una estrecha relación entre las máximas concentraciones de clorofila *a* y biomasa celular en células registradas en la capa subsuperficial (10 m) en junio y agosto del 2000 especialmente en La Libertad.
- Se registraron procesos de afloramientos en los meses de mayo y agosto en La Libertad durante el año 2000 y en los meses de marzo y julio en Manta, durante el año 1999, los núcleos de afloramientos estuvieron caracterizados por concentraciones de clorofila *a* entre 1.26-1.44-1.76 y 2.12 mg/m³ en superficie; mientras que en la capa subsuperficial (10 m) se observaron los mayores núcleos con rangos entre 2.34-2.38 mg/m³ durante los meses de junio y agosto. En Manta los mayores núcleos se registraron en febrero de 1999 con 1.16 mg/m³ (20 m) y en marzo de 1999 con 0.92 mg/m³ (10m).

BIBLIOGRAFÍA:

Bayot y Cornejo. 1996. Evidencias de ondas ecuatoriales en Salinas y Galápagos. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR, Ecuador, 8 (1): 1-14.

Bonilla M., 1990. Variación mensual del Plancton en una Estación Fija La Libertad (Salinas), Ecuador, período 1988-1989. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR. Vol. 6(1):58-67.

Guillén O., y Calienes R, 1978. Productividad y Afloramiento frente a las aguas costeras peruanas. *Boletín volumen extraordinario. Instituto del Mar del Perú*:130-142.

Jiménez, R., 1978. Biomasa y composición del fitoplancton al oeste de las Islas Galápagos, Ecuador, *Bol. ERFEN* 1(2).

Jiménez, R., y D. Bonilla., 1980. Composición y distribución de la biomasa del Plancton en el Frente Ecuatorial. *Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR)*, 1(1): 19-64.

King C., 1966. *Oceanography: An Introduction*. University of Nottingham. Chapter 8: 264-272.

Kirk J., 1994. Ecological strategies. In *Light and Photosynthesis in aquatic ecosystems*. J. Kirk 2nd ed.;361-431.

Margalef, R., 1972. *El Ecosistema de Ecología Marina*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales - Venezuela:377-453.

Moreano H., 1983. Interacción Océano- atmósfera sobre la zona costera del Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR)*, 2(1): 1 -11.

Peribonio, R., 1981. Distribución de clorofila *a* y feopigmentos en el Golfo de Guayaquil. *Revista de Ciencias del Mar y Limnología*, Ecuador (1):1-7.

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.

UNESCO, 1966. *Methodology for oceanic CO₂ measurements. Final Report of SCOR Working Group 75 Woods Hole, U.S.A. October 1988.* UNESCO Technical papers in Marine Science.

Valencia M., y A. Rodríguez de M., 1996. Características químicas de las masas de agua costeras ecuatorianas en estaciones fijas Península de Santa Elena y Puerto de Manta-Ecuador. 1990-1995. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR. Vol. 8 (1): 29-38.

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. Vol. 8 (1): 1 - 8.

CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA DE LA BAHÍA DE JARAMIJÓ EN LA COSTA ECUATORIANA, 2008

Elena Gualancañay ¹
María Elena Tapia ¹
Christian Naranjo ¹
Manuel Cruz ¹
Francisco Villamar ¹

RESUMEN

Para el estudio biológico y ambiental de la bahía de Jaramijó en las componentes fitoplancton, zooplancton, microbentos y macrobentos, se analizaron 15 estaciones provenientes de tres niveles entre 10 y 20 metros de profundidad y dividido en tres perfiles paralelos a la costa, durante las estaciones seca y lluviosa del año 2008.

El fitoplancton y zooplancton resultaron muy abundantes durante la estación lluviosa y menos abundante en la estación seca del año 2008. Predominaron las especies de diatomeas: *Bacteriastrium hyalinum*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Chaetoceros affinis* y *Ch. curvisetus* y la presencia de dinoflagelados y cianobacterias fue escasa dinoflagelados. En general las especies halladas son típicas de una mezcla de masas de aguas frías, neríticas, consideradas productivas para la estación lluviosa.

La mayor abundancia de biomasa zooplanctónica se registraron en el perfil 1 y 2 en las estaciones 3 y 9 y durante la fase de flujo de la época húmeda. Características poco usuales a las condiciones de los patrones típicos, posiblemente favorecidas por las condiciones frías que se presentaron durante la época húmeda del año 2008.

La microfauna bentónica fue pobre para las dos estaciones del año, las especies predominantes de acuerdo a su abundancia relativa fueron: *Cibicides bertheloti*, f. *boueana* con el 55 %, *Quinqueloculina lamarckiana* con el 27% y *Nonion pizarrense* con el 18%, las mismas que tipifican la zona zoogeográfica Panameña. En cuanto a la microflora béntica se mantuvo ausente en toda el área durante las dos estaciones del año.

Los moluscos durante la estación seca su diversidad fue mayor en relación a la estación húmeda y el número de estaciones. Durante la época húmeda se identificaron trece especies de moluscos, seis en la zona intermareal con preferencia el sustrato rocoso y siete en la zona submareal en sedimentos blandos, mientras que en la época seca se encontraron 21 especies de moluscos 13 bivalvos y 5 gasterópodos, habiéndose encontrado una mayor diversidad durante la época seca. En la zona intermareal durante la época húmeda, se encontró un bivalvo y cinco gasterópodos, de los cuales *Littorina paytensis* y *Brachidontes puntarenensis* son los más abundantes, siendo *Thais melones* la especie dominante del área, que controla las poblaciones de los bivalvos y los gasterópodos, Esta relación se ha mantenido en la época seca

Los poliquetos en la época húmeda se caracterizó la familia *Spionidae* con la especie *Polidora websteri* y *Syllis elongata* de la familia *Syllidae*. En los sustratos submareales arenosos se hallaron 13 especies de poliquetos bentónicos, siendo abundante *Capitella sp.*, y menos abundante *Sabella sp.*, *Orbinia sp.*, *Glicera sp.*, *Onuphis nebulosa*, *Ophelia sp.* y *Nephtys singularis*.

⁽¹⁾Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), División Biología Marina, Base Naval Sur, Avda. 25de Julio, Vía Pto. Marítimo. Guayaquil, Ecuador.

ABSTRACT

For the biological and environmental study of the bay of Jaramijó in the components phytoplankton, zooplankton, microbenthos and macrobenthos, were analyzed 15 stations of three levels between 10 and 20 meters of depth and divided in three parallel profiles to the coast, during the dries and rainy seasons of year 2008.

The phytoplankton and zooplankton were very abundant during the rainy season and less abundant in the dry season of year 2008. Predominated the species of diatoms: *Bacteriastrum hyalinum*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Chaetoceros affinis* and *Ch. curvisetus* and the presence of dinoflagelates and cyanobacterias were poor. In general the found species are typical of a mixture of masses of waters cold, neritic, considered productive for rainy season.

The greater abundance of zooplankton biomass was registered in transect 1 and 2 in stations 3 and 9 and during the phase of flow during the humid season. Little usual characteristics to the conditions of typical patterns, possibly favored by the cold conditions that they appeared during the humid season of year 2008.

The bentonic microfauna was poor for the two stations of the year, the predominant species according their relative abundance were: *Cibicides bertheloti*, f. *boueana* with 55 %, *Quinqueloculina lamarckiana* with 27% and *Nonion pizarrense* with 18%, that are typical for the Panamic zoogeographic zone. The benthic microflora stayed absent in all the area during the two seasons of the year.

The molluscs during the dries station, the diversity was greater in relation to the humid season. During the humid season, thirteen species of molluscs were identified, six in the intertidal zone with preference the rocky substrate and seven in the subtidal zone in soft sediments, while in the dry season 21 species of mollusks, 13 bivalves and 5 gastropods were identified, having found a greater diversity during the dry season. In the intertidal zone during the humid season, one bivalve and five gastropods were identified, of which *Littorina paytensis* and *Brachidontes puntarenensis* are most abundant, being *Thais melones* the dominant species of the area, that have control on the populations of the bivalves and the gastropods, This relation has stayed during the dry season.

The polychaetous during the humid season the Spionidae family was characterized with the species *Polidora websteri* and *Syllis elongata* of the Syllidae family. In the sandy subtidal substrates 13 species of benthonic polychaetous were identified, being abundant *Capitella* sp., and less abundant *Sabella* sp., *Orbinia* sp., *Glicera* sp., *Onuphis nebulosa*, *Ophelia* sp. and *Nephtys singularis*.

Palabras claves: zoogeográfica, intermareal, submareal.

INTRODUCCIÓN

En la bahía de Jaramijó durante las estaciones seca y lluviosa del año 2008 se realizó el estudio para determinar las características del fitoplancton, zooplancton y de los organismos bentónicos de la bahía. En esta área los estudios son escasos y a continuación se citan los siguientes:

Jiménez, Gualancañay y Luzuriaga (1974), en el Golfo de Guayaquil y frente a las costas de Manabí realizaron un estudio sobre la biomasa fitoplanctónica expresada en concentraciones de clorofila *a* y de la producción primaria.

Jiménez (1976); Jiménez y Pesantes (1978), analizaron el fitoplancton y la productividad primaria de la costa del Ecuador y principalmente frente a las costas de Manabí, mientras estuvo presente el Frente Ecuatorial.

Gualancañay (1978), realizó el estudio de los foraminíferos bentónicos en la provincia de Manabí en los puertos de Cayo, Machalilla, Bálsamo, Puerto López, Salango y Punta Canoa e identificó 40 géneros con 63 especies típicas de aguas someras de fauna tropical.

Cruz (1980), realizó una investigación de los Moluscos-Bivalvos de la plataforma superior interna de la provincia de Manabí.

Luzuriaga y Calderón (2006), en las estaciones fijas de Esmeraldas, Punta Galera y Puerto López, indicaron que la mayor densidad de huevos y larvas de engraulidos: *Anchovia* (anchoa), *Cetengraulis mysticetus* (chuhueco) caracterizaron la estación fija de Esmeraldas y Puerto López, en donde las larvas de *B. bathymaster*, *Cynoscion sp.*, *Gobius sp.* fueron las especies con mayor índice de frecuencia.

Prado y Cajas (2006), indicaron que la parte central del área muestreada (frente a Esmeraldas y Manabí) fue la zona con mayor densidad

fitoplanctónica, y la especie más frecuente y abundante fue *Cylindrotheca closterium*. La composición zooplanctónica estuvo dominada por los crustáceos y el mayor número de ellos tropicales; la especie más frecuente y abundante fue *Eucalanus pileatus*.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la Bahía de Jaramijó, desde el faro hasta el norte de la Base Naval, entre las coordenadas 0°55'28"S, 80°39'15"W y 0°54', 80°35'50"W, las estaciones fueron ubicadas en perfiles perpendiculares a la línea de costa hasta alcanzar el veril de los 10 metros en la parte sur; mientras que en el norte alcanzó hasta los 20 metros. Figura 1.

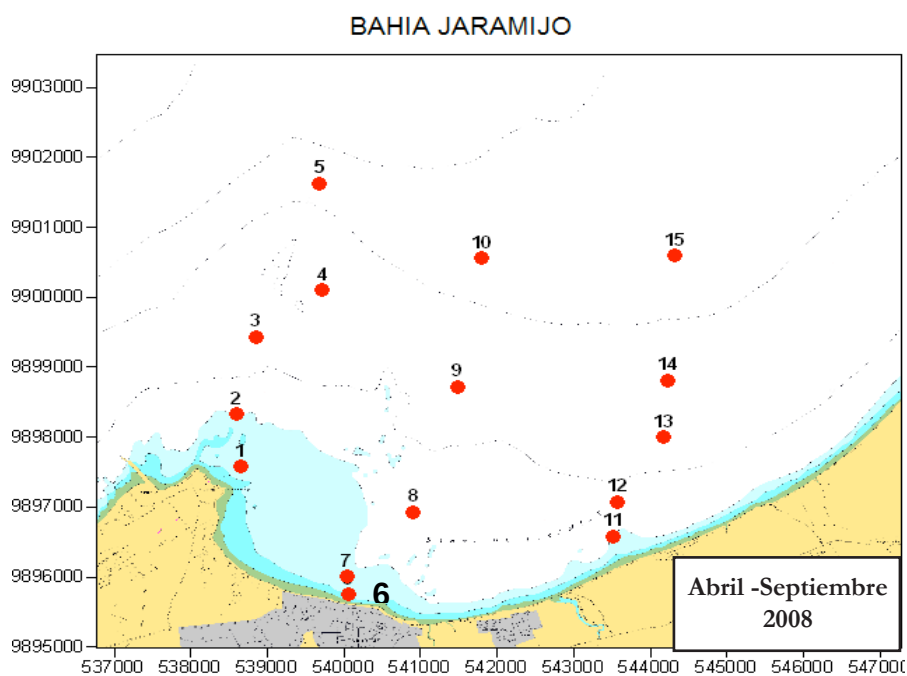


Figura 1. Posición de las estaciones en el área de estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

Clorofila *a*: La metodología aplicada fue la de SCOR UNESCO (1966) Working Group 17 y los resultados fueron expresados en mg/m³, para las muestras de agua colectadas en las fases de flujo y reflujo en tres niveles de profundidad. Para los contajes celulares: Se siguió las recomendaciones del método Uthermohl expresado en cel/l, y se utilizaron las mismas muestras de agua.

Para los arrastres superficiales: Se utilizaron redes de abertura de malla de 50μ, y flujómetros para el cálculo del volumen de agua filtrada. Con los valores absolutos obtenidos se calculó el número de células por metro cúbico de agua filtrada por la red utilizando la siguiente fórmula:

$$N = [(DV/SV) TN] / Q$$

Donde:

- N** = Número de individuos
DV= Volumen total diluido en m³.
SV= Volumen total de la alícuota
TN= Número total de organismos del plancton en la alícuota
Q = Cantidad de agua filtrada por la red.

Para los arrastres de los organismos del zooplancton: Se aplicó el método de Boltovskoy (1981), se emplearon redes de 0.3 m de diámetro con una abertura de malla de 335µ, en 15 estaciones ubicadas en 3 perfiles paralelo a la costa durante las fases de marea de flujo y reflujo. Se utilizaron flujómetros para calcular el volumen de agua filtrada. Con un separador de Folsom se obtuvo la biomasa zooplanctónica. Para los análisis cualitativo y cuantitativo aplico el método de Mc Ewen, et.al (1954) zooplancton bibliografía especializada.

Para el muestreo del microbentos, se realizarán lances de draga en cada una de las estaciones programadas. Para la identificación de las especies se ha seguido la sinonimia clásica por el método de (Boltovskoy, 1965).

Para el muestreo de los organismos del macrobentos en la zona intermareal rocosa y de fondos blandos se aplicó el método de Roger J. Lincoln & Gordon Sheals (1979), en el límite de la pleamar, límite de la bajamar y en la zona intermedia. También se realizaron muestreos submareales entre 10 y 25 m. de profundidad con una draga tipo Van Veen y para la identificación de las especies bibliografía especializada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fitoplancton: Durante la época húmeda (Abril, 2008) Clorofila *a*: en flujo y reflujo, los resultados se dan por perfiles.

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5: En flujo (E.4), concentraciones de 0.26 mg/m³ a nivel superficial. En el estrato del medio (E.5), bajas concentraciones con 0.13 mg/m³ y en el estrato del fondo (E.5) valores moderados de 0.34 mg/m³. (E.3). En reflujo (E.3), se observaron concentraciones moderadas de 0.32 mg/m³ a nivel superficial, en el estrato

medio (E.5) una baja concentración de 0.17 mg/m³ y en el estrato del fondo (E.5) fueron valores altos de 0.55 mg/m³.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10: En flujo (E.6), concentraciones moderadas de 0.66 mg/m³ en superficie, en el estrato del medio (E.10), altas concentraciones altas de 0.78 mg/m³ y en el estrato del fondo (E.9-10) concentraciones productivas entre 0.66-0.90 mg/m³. (E.10). En reflujo (E.6), concentraciones altas de 0.74 mg/m³ a nivel superficial, en el estrato del medio (E.7) una concentración de 0.24 mg/m³ y en el estrato del fondo (E.8) concentraciones de 0.70 mg/m³ Figura 2.

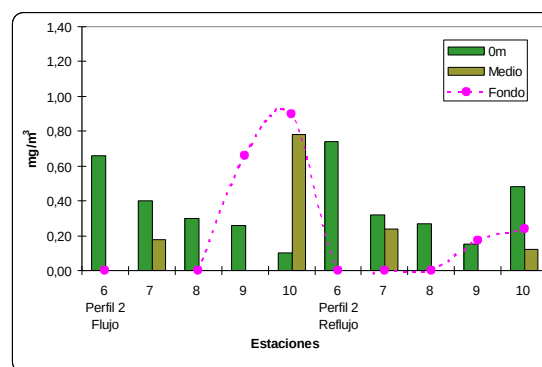


Figura 2. Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Perfil 2 durante flujo y reflujo, durante abril de 2008 - Jaramijó.

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15: En flujo (E.14-15), valores de 0.84-1.22 mg/m³ a nivel superficial, en el estrato del medio (E.15), concentraciones altas de 0.54 mg/m³ y en reflujo (E.14-15) concentraciones altas entre 0.68-0.86 mg/m³ a nivel superficial.

Biomasa celular: Flujo y Reflujo. Área de Perfiles:

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5 Superficie: En flujo la biomasa celular fue abundante con 1.406 cel/l. La mayor biomasa se registró en la estación 2 con 674 cel/l y la menor biomasa en la estación 4 con 107 cel/l con un total de 48 especies. En reflujo la mayor biomasa se registró en la estación 3 con 419 cel/l y la menor biomasa en la estación 5 con 97 cel/l, con un total de 21 especies: *Coscinodiscus excentricus*, *Chaetoceros curvisetus*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Planktoniella sol*, *Mesodinium rubrum*.

Medio: En flujo una escasa biomasa celular de 233 cel/l localizada en la estación 5, registrándose un

total de 14 especies. En reflujo una escasa biomasa celular de 171 cel/l localizada en la estación 5, registrándose un total de 12 especies, tales como: *Chaetoceros curvisetus*, *Ch. affinis*, *Thalassiosira subtilis*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Mesodinium rubrum*.

Fondo: En flujo una moderada biomasa celular con 514 cel/l. La mayor biomasa celular en la estación 5 con 328 cel/l y la menor en la estación 4 con 186 cel/l registrándose un total de 32 especies. Figura. 3.

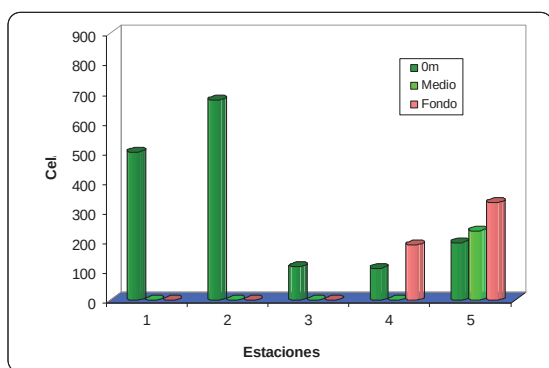


Figura 3. Distribución Superficial y Subsuperficial de Biomasa celular en el Perfil 1 durante flujo, abril 2008 - Jaramijó.

La distribución superficial y subsuperficial durante el reflujo hubo una moderada biomasa celular de 500 cel/l. La mayor biomasa celular en la estación 5 con 261 cel/l y la menor biomasa se observó en la estación 4 con 239 cel/l, registrándose un total de 26 especies: *Climacodium frauenfeldianum*, *Triceratium favus*, *Eucampia zoodiacus*, *Rhizosolenia alata*, *Planktoniella sol*. Figura 4.

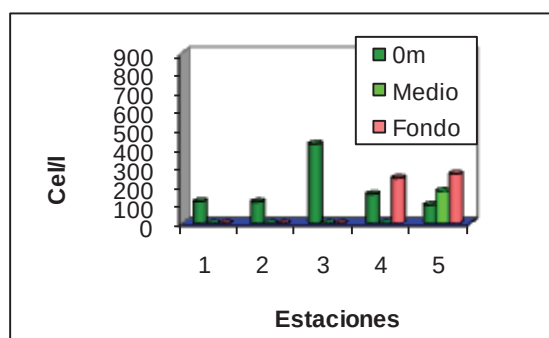


Figura 4. Distribución Superficial y Subsuperficial de Biomasa celular en el Perfil 1 durante reflujo, abril 2008 - Jaramijó.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10 Superficie: En flujo una abundante biomasa celular de 1.234 cel/l. La mayor biomasa celular en la estación 9 con 300

cel/l y la menor en la estación 8 con 178 cel/l registrándose un total de 21 especies. En reflujo una abundante biomasa celular de 1.335 cel/l con un total de 26 especies: *Chaetoceros curvisetus*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiotrix frauenfeldii*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium sp.*

Medio: En flujo una baja biomasa celular de 299 cel/l, En reflujo una baja biomasa celular de 319 cel/l. En reflujo una escasa biomasa celular de 424 cel/l. La composición de especies: *Chaetoceros debilis*, *Gossleriella tropica*, *Climacodium frauenfeldianum*, *Planktoniella sol*, *Gymnodinium sp.*

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15 Superficie: En flujo se observó una moderada concentración celular de 875 cel/l. La mayor biomasa celular en la estación 15 con 700 cel/l y la menor en la estación 12 con 111 cel/l con un total de 17 especies. En reflujo una concentración celular de 895 cel/l. La mayor biomasa celular en la estación 15 con 900 cel/l y la menor biomasa en la estación 12 con 117 cel/l. La composición de especies: *Thalassiosira subtilis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Thalassiotrix frauenfeldii*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium sp.*

Medio: En flujo hubo una escasa biomasa celular con 299 cel/l. En reflujo se observó una escasa biomasa celular de 319 cel/l. La composición de especies fue: *Thalassiosira subtilis*, *Thalassiotrix frauenfeldii*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia imbricata*, *Coscinodiscus excentricus*.

Fondo: En flujo una moderada biomasa celular de 710 cel/l. En reflujo con una moderada biomasa celular de 813 cel/l. Las especies fueron: *Thalassiosira subtilis*, *Rhizosolenia calcar-avis*, *Chaetoceros affinis*, *Ceratium tripos*, *Gymnodinium sp.*

Fitoplancton (Red 50u): Flujo y Reflujo

Área de Perfiles: Arrastres Superficiales

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5: Durante flujo en este perfil hubo muy abundante densidad celular con 8.225 cel/m³. En esta área se registró una diversidad de 61 especies distribuidas en 29 diatomeas, 25 dinoflagelados, 1 silicoflagelado, 3 cianobacterias, 3 tintinnidos. La abundancia relativa de las especies estuvo representada: *Chaetoceros curvisetus* 59,19% *Rhizosolenia imbricata* 18,31%, *Ch. compressus* 4,62%, *Ch. coarctatus* 2,29%,

Ch. affinis 1,95% y otros 13,65%. Se registraron las mayores densidades celulares en la estación 4 con 6.112 cel/m³. La menor abundancia se observó en la estación 5 con 232 cel/m³. En esta área se registró una diversidad de 57 especies distribuidas en 32 diatomeas, 21 dinoflagelados, 1 silicoflagelado, 3 tintinnidos. La abundancia relativa de las especies estuvo representada por: *Chaetoceros curvisetus* 58,35% *Rhizosolenia imbricata* 19,82%, *Ch. compressus* 8,15%, *Ch. affinis* 6,64%, *Goniodoma polyedricum* 2,60% y otros 4,44%.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10: Durante flujo se encontró en este perfil la densidad celular fue abundante con 9.076 cel/m³. Se registró una diversidad de 57 especies con 31 diatomeas, 19 dinoflagelados, 3 cianobacterias, 4 tintinnidos. La abundancia relativa de las especies: *Chaetoceros curvisetus* 68,88% *Rhizosolenia imbricata* 17,43%, *Ch. compressus* 2,27%, *Ch. affinis* 2,40%, *Ch. coarctatus* 1,72%, y otros.

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15: Durante flujo se encontró una moderada densidad celular con 8.806 cel/m³ y una diversidad de 57 especies distribuidas en 30 diatomeas, 22 dinoflagelados, 1 silicoflagelado, 2 cianobacterias, 2 tintinnidos. La abundancia relativa de las especies estuvo representada por: *Chaetoceros compressus* 28,91%, *Ch. curvisetus* 24,21%, *Ch. coarctatus* 23,12%, *Rhizosolenia imbricata* 12,92%, *Ch. affinis* 2,34%, y otros 8,49%. Durante reflujo se encontró en este perfil un tercer núcleo celular con 19.643 cel/m³. En esta área se registró la mayor diversidad con 70 especies distribuidas en 38 diatomeas, 24 dinoflagelados, 2 silicoflagelados, 2 cianobacterias, 4 tintinnidos. La abundancia relativa representada por: *Chaetoceros compressus* 26,63%, *Ch. curvisetus* 21,02%, *Rhizosolenia imbricata* 20,51%, *R. alata* 6,17%, *Protoperdinium obtusum* 4,72%, *Ceratium furca* 4,57% y otros 16,39%.

Época Seca: (Septiembre 2008).

Clorofila a: Flujo y Reflujo

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5: En flujo (E.4), se registraron concentraciones de 0.47 mg/m³ a nivel superficial. En reflujo (E.4), se observaron moderadas concentraciones de 0.54 mg/m³ a nivel superficial. En el estrato del medio (E.5), se registró una baja concentración de clorofila

con 0.22 mg/m³. En el estrato del fondo (E.4) se registraron bajos valores con 0.17 mg/m³. Las menores concentraciones se encontraron en el estrato del fondo (E.5) con 0.15 mg/m³. Figura 5.

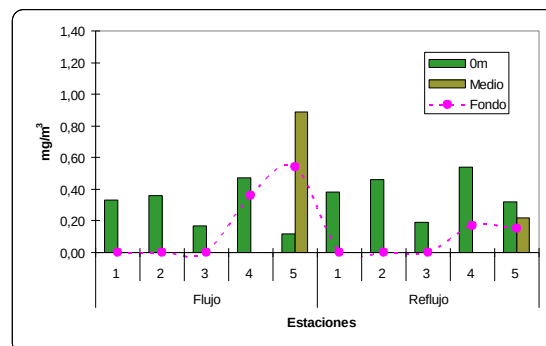


Figura 5. Variabilidad Superficial y Subsuperficial de Clorofila a en el Perfil 1 durante flujo y reflujo, septiembre de 2008 - Jaramijó.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10: En flujo (E.6), se registraron moderadas concentraciones de 0.65 mg/m³ a nivel superficial. En reflujo (E.6), altas concentraciones de 0.68 mg/m³ a nivel superficial.

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15: En flujo (E.15), concentraciones de 0.58 mg/m³ a nivel superficial. Los valores menores se encontraron en superficie con 0.12 mg/m³ (E.13). En reflujo (E.14-15), altas concentraciones entre 0.68-0.72 mg/m³ a nivel superficial.

Biomasa celular: Flujo y Reflujo

Área de Perfiles: “Perfil 1” Estaciones 1 a 5 Superficie: En flujo se observó una abundante biomasa celular de 1.120 cel/l. En reflujo una abundante biomasa celular de 2.287 cel/l. La composición de las especies: *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus excentricus*, *Mesodinium rubrum*.

Medio: En flujo hubo una escasa biomasa celular de 90 cel/l localizada en la estación 5, En reflujo una escasa biomasa celular de 432 cel/l localizada en la estación 5, La composición de las especies fue: *Eucampia zoodiacus*, *Coscinodiscus lineatus*, *Rhizosolenia calcar-avis*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium sp.*

Fondo: En flujo se observó una escasa biomasa celular de 477 cel/l. La mayor biomasa celular

en la estación 5 con 314 cel/l y la menor en la estación 4 con 163 cel/l. En reflujo una moderada biomasa celular de 556 cel/l. La composición de especies fue: *Coscinodiscus excentricus*, *Pseudo-nitzschia paradoxa*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium sp.*

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10 Superficie: En flujo se observó una abundante biomasa celular de 1.970 cel/l. En reflujo una moderada biomasa celular de 918 cel/l. La composición de las especies fue: *Rhizosolenia stolterfothii*, *Chaetoceros curvisetus*, *Thalassiosira subtilis*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium sp.*

Medio: En flujo se observó una escasa biomasa celular de 149 cel/l, En reflujo una escasa biomasa celular de 211 cel/l. La composición de las especies fue: *Pseudo-nitzschia paradoxa*, *Coscinodiscus perforatus*, *Pseudo-nitzschia recta*, *C. excentricus*, *Mesodinium rubrum*.

Fondo: En flujo una escasa biomasa celular de 242 cel/l. La mayor biomasa celular en la estación 9 con 181 cel/l y la menor en la estación 10 con 61 cel/l con un total de 15 especies. En reflujo una moderada biomasa celular de 659 cel/l. La mayor biomasa celular se registró en la estación 10 con 436 cel/l y la menor biomasa en la estación 9 con 223 cel/l, con un total de 20 especies. La composición de las especies fue: *Thalassiosira subtilis*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Mesodinium rubrum*, *Gymnodinium sp.*

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15 Superficie: En flujo se observó una abundante concentración celular de 1.537 cel/l. En reflujo una abundante concentración celular con un total de 1.234 cel/l. La composición de las especies fue: *Thalassiosira subtilis*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Coscinodiscus excentricus*, *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros affinis*.

Medio: En flujo una escasa biomasa celular con un total de 164 cel/l. En reflujo se observó una escasa biomasa celular de 213 cel/l. La composición de las especies fue: *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Coscinodiscus excentricus*, *Thalassiosira subtilis*, *Gymnodinium sp.*, *Mesodinium rubrum*.

Fondo: En flujo hubo una moderada biomasa celular de 553 cel/l. En reflujo una moderada

biomasa celular de 417 cel/l. La composición de las especies: *Rhizosolenia calcar-avis*, *Coscinodiscus sp.*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Thalassiosira subtilis*, *Mesodinium rubrum*.

Fitoplancton (Red 50u): Flujo y Reflujo. Área de Perfiles: Arrastres Superficiales

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5: Durante el flujo en este perfil fue muy abundante la densidad celular con 19.011 cel/m³. Hubo una diversidad de 70 especies distribuidas en 43 diatomeas, 19 dinoflagelados, 2 silicoflagelados, 1 cianobacteria, 5 tintinnidos. La abundancia relativa de las especies: *Leptocylindrus danicus* 17,83%, *Rhizosolenia stolterfothii* 13,68%, *Chaetoceros curvisetus* 13,41%, *Ch. coarctatus* 7,49%, *Ch. compressus* 7,13% y otros 40,46%. Durante reflujo se encontró en este perfil 12.541 cel/m³. La diversidad de 72 especies distribuidas en 42 diatomeas, 21 dinoflagelados, 1 silicoflagelado, 4 cianobacterias, 4 tintinnidos. La abundancia relativa: *Chaetoceros curvisetus* 24,29%, *Ch. coarctatus* 20,46%, *Ch. affinis* 18,73%, *Bacteriastrium hyalinum* 12,18%, *Rhizosolenia imbricata* 6,41%, y otros 17,93%. Las mayores densidades celulares en la estación 3 con 8.772 cel/m³ La menor abundancia en la estación 4 con 289 cel/m³.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10: Durante flujo en este perfil fue muy abundante la densidad celular 15.341 cel/m³. Una diversidad de 70 especies distribuidas en 46 diatomeas, 19 dinoflagelados, 1 cianobacteria, 4 tintinnidos. La abundancia relativa: *Rhizosolenia stolterfothii* 21,81% *Bacteriastrium hyalinum* 14,75%, *Leptocylindrus danicus* 10,57%, *Chaetoceros affinis* 10,54% *Rhizosolenia calcar-avis* 9,22 y otros 33,11 %. Durante reflujo se encontró el primer núcleo celular con 27.165 cel/m³. En esta área la más alta diversidad con 79 especies distribuidas en 50 diatomeas, 23 dinoflagelados, 1 cianobacteria, 5 tintinnidos. La abundancia relativa de las especies: *Bacteriastrium hyalinum* 20,95%, *Leptocylindrus danicus* 18,89%, *Rhizosolenia stolterfothii* 14,13%, *Chaetoceros affinis* 11,23%, *Chaetoceros curvisetus* 5,87%, y otros 28,93%.

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15: Durante flujo se encontró un segundo núcleo celular con 28.060 cel/m³. Hubo una diversidad de 72 especies distribuidas en 43 diatomeas, 23 dinoflagelados,

2 silicoflagelados, 2 cianobacterias, 2 tintinnidos. La abundancia relativa: *Bacteryastrum hyalinum* 25,29%, *Chaetoceros curvisetus* 10,70 %, *Rhizosolenia imbricata* 10,04 %, *Ch. affinis* 9,26%, *Ceratium deflexum* 2,58% y otros 42,13 %. Durante reflujo se encontró muy abundante densidad celular con 15.977 cel/m³. Se registró la mayor diversidad con 75 especies distribuidas en 44 diatomeas, 25 dinoflagelados, 2 cianobacterias, 4 tintinnidos. La abundancia relativa de las especies: *Bacteryastrum hyalinum* 18,31%, *Leptocylindrus danicus* 17,09%, *Eucampia zoodiacus* 11,47%, *Rhizosolenia stolterfothii* 10,79%, *Rhizosolenia imbricata* 9,17% y otros 33,2%.

Análisis comparativo de Clorofila a realizados durante la época húmeda y seca.

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5: En la época húmeda durante flujo se registraron concentraciones de clorofila con rangos entre 0.26- 0.34 mg/m³ en superficie y en fondo. En reflujo las concentraciones fueron mayores con valores entre 0.32- 0.55 mg/m³. Relacionando con la época seca se observó un ligero incremento con rangos entre 0.47-0.54 mg/m³ durante flujo y reflujo.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10 : En la época húmeda durante flujo, se registraron aguas productivas con rangos entre 0.78-0.90 mg/m³ en superficie y en fondo. En reflujo se registraron valores de 0.70-0.74 mg/m³. Relacionando con la época seca se observa una ligera disminución con valores de 0.65-0.68 mg/m³ durante flujo y reflujo.

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15 : En la época húmeda durante flujo, se registraron aguas productivas con rangos entre 1.06-1.22 mg/m³ en superficie y en fondo. En reflujo se registraron productivos valores de 0.86- 1.14 mg/m³. Relacionando con la época seca se observa una disminución de la productividad primaria con valores de 0.58 - 0.86 mg/m³ durante flujo y reflujo.

Análisis comparativo de Contajes celulares realizados durante la época húmeda y seca.

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5: En la época húmeda durante flujo se observó una abundante biomasa celular con valores de 1.406 cel/l en superficie. En

reflujo se registró una moderada concentración celular de 901 cel/l en el fondo. Relacionando con la época seca se observa una leve disminución de la biomasa con 1120 cel/l en superficie y 477 cel/l en fondo, con 25 especies en flujo y 29 especies en reflujo.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10 : En la época húmeda durante flujo se observó una abundante biomasa celular con valores de 1234 cel/l en superficie. En reflujo se registró una alta biomasa celular con 1335 cel/l en superficie y una moderada biomasa de 828 cel/l en el fondo. Relacionando con la época seca se observaron incrementos de las biomásas celulares con rangos entre 1970 cel/l en superficie y una ligera disminución en el fondo con 242 cel/l. En reflujo se registró una disminución celular con 918 cel/l en superficie y 660 cel/l en el fondo.

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15: En la época húmeda durante flujo se registró una moderada biomasa con 875 cel/l en superficie. En reflujo se observó una concentración celular con 900 cel/l en superficie. Relacionando con la época seca se observa un incremento celular con valores de 1537 cel/l en superficie y 553 cel/l en el fondo. En reflujo se observó un incremento de la biomasa celular con un total de 1234 cel/l en superficie y un total de 417 cel/l en el fondo.

Análisis Comparativo de los Análisis Cualitativos (Red 50u) Realizados Durante la Época Húmeda y Seca.

Arrastres Superficiales

“Perfil 1” Estaciones 1 a 5: En abril durante flujo se observó muy abundante densidad celular con un total de 8.225 cel/m³ y 61 especies. Comparando estas concentraciones obtenidas con las de septiembre se encontró un significativo incremento de especies con un total de 19.011 cel/m³ ; sin embargo se observó que la diversidad de especies ha incrementado habiendo actualmente 70 especies. En reflujo se encontró una significativa abundancia de especies con un total de 12.541 cel/m³ y 72 especies, siendo mayor que en abril. En este perfil se registró una salinidad promedio de 33.6 UPS y una temperatura entre 26.0- 26.7° C.

“Perfil 2” Estaciones 6 a 10: En abril durante flujo se registró una abundante densidad celular de 9.076 cel/m³ y 57 especies. En reflujo se observó un segundo núcleo celular con 26.306 cel/m³. Comparando estas concentraciones obtenidas con las de septiembre se registró un incremento de la diversidad y densidad celular con 15.341 cel/m³ y 70 especies. En reflujo se observó un núcleo celular con un total de 27.165 cel/m³ y 79 especies, siendo la mayor diversidad del área en estudio. En este perfil se registró una salinidad promedio entre 33.5 - 33.7 UPS y una temperatura entre 25.8 - 26.0° C.

“Perfil 3” Estaciones 11 a 15: En abril durante flujo se registró una moderada densidad celular de 8.806 cel/m³ y 57 especies. En reflujo se observó un tercer núcleo celular con 19.643 cel/m³ y 70 especies. Comparando estas concentraciones obtenidas con las de septiembre se registró en flujo un segundo núcleo celular con 28.060 cel/m³ y 72 especies. En reflujo se observó una ligera disminución de la abundancia de especies con un total de 15.977 cel/m³ y 75 especies. En este perfil se registró una salinidad promedio entre 33.6 - 33.7 UPS y una temperatura entre 26.0 - 26.1° C.

Composición y Abundancia Relativa de las Comunidades del Zooplancton: (Flujo y Reflujo. Época Húmeda - Abril 2008)

Flujo: Perfil 1. La mayor abundancia de zooplancton durante la fase de flujo se encontró en la estación 3 representada por una biomasa zooplanctónica de 1240736 Org/100 m³. En tanto que la menor abundancia se registró en la estación 1 representado por una biomasa de 9166 Org/ 100 m³. Figura. 6.

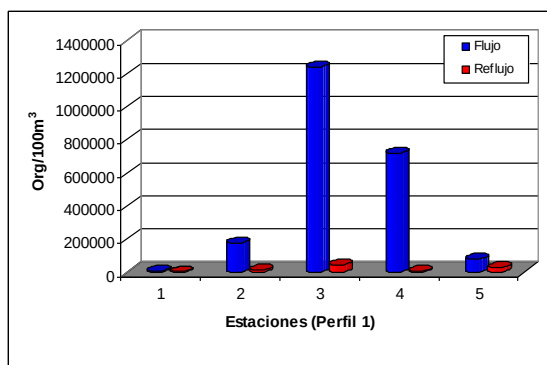


Figura 6. Abundancia del zooplancton en el perfil 1 durante la época húmeda abril de 2008.

En cuanto a diversidad de taxas en la comunidad del zooplancton en la capa superficial se registró una moderada diversidad representados por un total de 19 grupos zooplanctónicos, en términos de abundancia relativa los grupos dominantes en orden decreciente fueron: cladóceros 67.6%, copépodos 28%. De acuerdo a su escasa abundancia se determinó: quetognatos 2.0%, pterópodos 1.6%, huevos de peces 0.5%, apendicularios 0.2%. Las especies de cladóceros fueron *Evadne tergestina* y en menor abundancia *Penillia avirrostris*. Las especies de quetognatos se determinaron las siguientes y en términos de abundancia fueron: *Sagitta sp* 66.4%, *Sagitta bedoti* 22.2%, *S. peruviana* 6.7%, *S. enflata* 4.6% y *S. popoviccii* 0.1%. Las especies dominantes de quetognatos reportados en el perfil 1, durante la fase de flujo corresponden al género *Sagitta* determinándose las especies *S. bedoti*, *S. peruviana*, *S. enflata*, y en menor abundancia la presencia de la especie *S. popoviccii*, asociadas a un rango de temperatura superficial del mar de 26.0° a 26.1°C y valores de salinidad de 33.6 a 34.0 UPS.

Reflujo: Perfil 1: La abundancia del zooplancton durante la fase de reflujo fue menor en comparación a la obtenida en flujo, la mayor biomasa de zooplancton se encontró en la estación 3 con un valor 46164 Org/100 m³ y la menor biomasa en la estación 1 con 3420 Org/100 m³. En general se puede observar que existe una variabilidad dinámica en la abundancia de zooplancton en las estaciones muestreadas durante las fases de flujo y reflujo. La diversidad de taxa en la capa superficial se registraron 18 grupos zooplanctónicos. La comunidad zooplanctónica conformada por la dominancia de taxas de copépodos 57.7%, cladóceros 29.1%, huevos de peces 6.9%. En la categoría de accesorio se registró a las zoeas de brachiuras 2.7%, apendicularios 1.2%, pterópodos 0.6%, larvas de decápodos 0.5%, larvas de eufáusidos 0.4%, larvas de poliquetos 0.3%, sifonóforos 0.1%, larvas de peces 0.1%. En cuanto a las especies de cladóceros se observó un patrón similar cualitativa y cuantitativamente reportándose las especies *E. tergestina* y *P. avirrostris*. La abundancia de quetognatos estuvo representada por una baja diversidad por el género *Sagitta sp*. 87% y *S. peruviana* 13% durante la fase de reflujo. Las especies de quetognatos observadas en la capa superficial, estuvieron presentes con rango de

temperatura superficial del mar entre 24.8°- 26.9 ° C y valores de salinidad 33.7-34.1 UPS.

Flujo: Perfil 2: En cuanto a la biomasa de zooplancton se estableció una elevada productividad secundaria en la estación 9 con mayor productividad en este perfil con 1093731 Org/100 m³. La menor abundancia se registró en la estación 6 representado por una densidad poblacional de 18209 Org/100 m³. Se determinó la dominancia de los grupos cladóceros 73.7%, copépodos 18.5%, quetognatos 5.3% y en menor abundancia los grupos: huevos de peces 1.1%, ostrácodos 0.5%, anfípodos 0.4%, pterópodos 0.2%, doliolum 0.1% y larvas de poliquetos 0.1%. Las especies del filum quetognatos durante la fase de flujo las especies dominantes y frecuentes fueron *Sagitta sp* 89.9%, *Sagitta bedoti* 7.3%, *Sagitta enflata* 1.8%, *S. peruviana* 1%. Los valores de temperatura superficial del mar entre 25.9° - 26.9°C y salinidad entre 33.4-33.9 UPS.

Reflujo: Perfil 2: En esta fase se encontró una menor biomasa de zooplancton en comparación a la fase de flujo, destacándose que la máxima abundancia en la estación 9 con una biomasa de 53561 Org/100 m³. En la estación 6 una escasa biomasa de 7424 Org/100 m³. En la capa superficial un total de 17 grupos de zooplancton, los dominantes fueron los copépodos 57.4%, cladóceros 31.5% y quetognatos 5.9%. Como accidentales por su escasa abundancia relativa a las zoeas de brachiuras 1.3%, huevos de peces 1.3%, larvas de decápodos 0.8%, representado por la especie *Porcellana longicornis*, medusas 0.4%, furcilia 0.4%, pterópodos 0.4%, larvas de poliquetos 0.2%, sifonóforos 0.1%, larvas de peces 0.1%, larvas cifonauta 0.1%. Con relación a las especies de quetognatos se determinó al género *Sagitta sp* 76.9%, *S. peruviana* 11.8%, *S. bedoti* 9.3% y *S. enflata* 2.0%, con rangos de temperatura superficial del mar entre 26.2° - 26.7° C y salinidad 33.6 - 33.7 UPS.

Flujo: Perfil 3: La mayor abundancia de zooplancton con valor de 198353 Org/100 m³ en la estación 13, y la menor abundancia en la estación 11 con 30053 Org/100 m³.

En las estaciones ubicadas en el perfil 3 se registraron las menores biomásas de zooplancton

en comparación a los perfiles 1 y 2, durante las fases de flujo y reflujo. En las comunidades del plancton existen una variabilidad en cuanto a las escalas espacio-temporal, la cual está influenciada principalmente por la época, variación mareal, corrientes, factores ambientales Arcos y Martínez (Op cit). Con estos antecedentes permiten aseverar que existen cambios temporales en la composición y abundancia de las especies del plancton. En este perfil durante la fase de flujo se registró un total de 21 grupos de zooplancton y la mayor diversidad en la comunidad de zooplancton en comparación a los perfiles 1 y 2. La comunidad de zooplancton estuvo representada en la categoría de dominantes los grupos copépodos 84.6%, cladóceros 5.6%, en la categoría de accesorios quetognatos 3.8%, y en la categoría de accidental en virtud de su escasa abundancia se registró los grupos zoeas de brachiuras 2.4%, larvas de decápodos 1.2%, huevos peces 0.6%, y otros grupos como apendicularios, medusas, furcilia, larvas de poliquetos, larvas de peces, huevos de peces, pterópodos, ostrácodos que juntos alcanzaron una abundancia relativa menor 1.7%. Se determinó las especies de cladóceros registrándose las especies *Penillia avirrostris* y en menor abundancia *Evadne tergestina*. Con relación a las especies de quetognatos se registró la presencia de las especies del género *Sagitta sp*. 57.5%, *S. bedoti* 25.7%, *S. peruviana* 16.2%, *S. enflata* 0.7%. En este perfil se registraron las mayores temperaturas en la capa superficial registrándose valores de 26.4° - 27.0° C en comparación al perfil 1 y 2, en cuanto a la salinidad se registraron valores de 33.5 - 33.6, determinándose un baja variación de la salinidad en la capa superficial.

Reflujo: Perfil 3: En esta fase de marea se registró la mayor biomasa en la estación 12 con 158629 Org/100 m³, y la menor biomasa en la estación 13 con 48500 Org/100m³. Esta biomasa estuvo representada por la dominancia del grupo copépodos 58.2%, cladóceros 36.0%, en menor abundancia relativa por huevos de peces 4.9%, quetognatos 0.3%, apendicularios 0.2%, pterópodos 0.1%. Se reporta la presencia del grupo Cladóceros representado por las especies *P. avirrostris* y *E. tergestina*, siendo muy

abundante estas especies en la estación 12. Las especies de quetognatos corresponden al género *Sagitta* sp. 72%, *S. peruviana* 24% y *S. bedoti* 4%, estas especies estuvieron presentes con rangos de temperatura superficial entre 27.1-27.3° C y valores de salinidad 33.6 – 33.8 UPS.

Época Seca (Septiembre 2008): Composición y Abundancia Relativa de las Comunidades del Zooplancton Durante Flujo y Reflujo.

Flujo: Perfil 1: La mayor abundancia de zooplancton durante la fase de flujo se registró en la estación 1 representados por 6467 Org/100 m³ y la menor abundancia de zooplancton se registró en la estación 4 representado por una biomasa de 3939 Org/ 100 m³ Figura. 7.

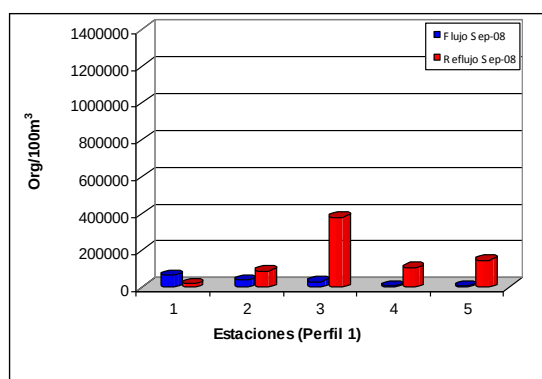


Figura 7. Abundancia del zooplancton en el perfil 1 Durante la época seca septiembre de 2008

La comunidad de zooplancton estuvo representada en la categoría de dominantes los grupos copépodos 58%, cladóceros 22%, quetognatos 10%, y en menor abundancia se registró los grupos zoeas de brachiuras 2%, huevos de peces 2%, larvas de cirripedios 2%, y otros grupos como pterópodos, radiolarios que juntos alcanzaron una abundancia relativa de 2 %. En cuanto a las especies de cladóceros se registró una dominancia de la especie *Penillia avirrostris* y en menor abundancia *Evadne tergestina*. En cuanto a las especies de quetognatos el género *Sagitta* sp. 76.5% se observaron en estado juvenil y la presencia de las especies *S. bedoti* 12.0% *S. peruviana* 5.3%, *S. enflata* 2.2%, *S. neglecta* 2.2% *S. popovicii* 1.8%. Figura. 8.

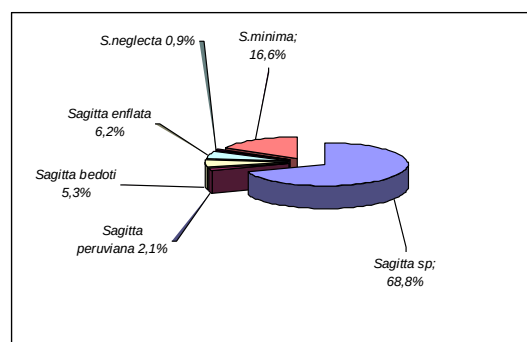


Figura 8. Abundancia relativa de las especies de Quetognatos en el Perfil 1 durante reflujo en septiembre-2008

Reflujo: Perfil 1: Se registró una mayor biomasa en comparación a la fase de flujo. La mayor biomasa en las estaciones 3 y 5 con 379493 y 145727 Org/ 100 m³. Estuvo representada por la dominancia del grupo cladóceros 48.1%, copépodos 29.3%, radiolarios 7.1%, zoeas de brachiuras 5.5%, en menor abundancia relativa los ostrácodos, huevos de peces 4.9%, quetognatos 0.3%, apendicularios 0.2%, pterópodos 0.1%. Durante la fase de reflujo una mayor diversidad de especies de quetognatos, con un total de 6 especies, el género *Sagitta* sp 68.8%, seguido de *S. minima* 16.6%, *S. enflata* 6.2%, *S. bedoti* 5.3%, *S. peruviana* 2.1%, *S. neglecta* 0.9%.

Flujo: Perfil 2: La biomasa de zooplancton estuvo comprendida entre 177648 Org a 12527 Org/ 100 m³, La estación 8 fue de mayor abundancia zooplanctónica y la menor abundancia en la estación 6. Cabe destacar que este perfil como el área de mayor productividad zooplanctónica, en comparación a los perfiles 1 y 3 durante la fase de flujo. Los grupos cladóceros 56%, copépodos 26%, ostrácodos 8%, y en menor abundancia se registró a los grupos quetognatos 3%, zoeas de brachiuras 2%, radiolarios 2%. En cuanto a los cladóceros fueron dominantes las especies *P. avirrostris* y *E. tergestina*.

Los quetognatos registraron una baja diversidad, compuesta por *Sagitta* sp 70%, *S. bedoti* 25% y *S. neglecta* 5%. Reflujo: Perfil 2: La mayor abundancia de zooplancton durante la fase de reflujo se registró en la estación 8 con una biomasa de 491563 Org/100 m³ y la menor abundancia en la estación 10 representado por una biomasa de 34855 Org/ 100 m³. Conformada por cladóceros 52%, de las especies *P. avirrostris* y *E. tergestina*, en menor abundancia se reporta copépodos 24.9%,

pterópodos 13.4%, radiolarios 5%, y otros grupos como ostrácodos 2.1%, quetognatos 1%, zoeas de brachiuras 0.9%. La composición de especies de quetognatos similar a las del flujo como *Sagitta* sp 93%, *S. enflata* 3.5%, *S. bedoti* 1.5%, *S. popovicii* 1.5% y *S. neglecta* con 0.4%.

Flujo: Perfil 3: Se registró la menor biomasa en comparación a los otros perfiles entre 12046 Org a 2834 Org/ 100 m³, la mayor abundancia en la estación 11. La composición del zooplankton estuvo conformado por copépodos 72%, cladóceros 13.6%, quetognatos 4.4%, huevos de peces 4.4%; en menor abundancia los radiolarios 2.9%, ostrácodos 0.7%, zoeas de brachiuras 0.4%, pterópodos 0.2%. En relación a las especies de quetognatos el género *Sagitta* sp 63.1%, *S. bedoti* 18.4%, *S. neglecta* 12.8%, y en menor abundancia *S. peruviana* 4.1% y *S. popovicii* 1.5%. Reflujo: Perfil 3: Durante el reflujo fue superior en comparación al flujo, determinándose una biomasa con valores entre 69299 Org y 296795 Org/100m³, Representado por los cladóceros 58.4% de las especies *Penillia avirostris* y *Evadne tergestina*. Otros grupos importantes fueron los copépodos 23.2%, pterópodos 8.6%, radiolarios 6.5%, zoeas de brachiuras 1.7%, quetognatos 0.5%. Se registró ligera diferencia cualitativa de las especies de quetognatos, en comparación a la fase de flujo, el género *Sagitta* sp 59.1%, y las especies *Sagitta bedoti* 24.9%, *S. enlata* 7.3%, *S. neglecta* 6.8%. Las especies de quetognatos durante la época húmeda por la dominancia de *Sagitta. Enflata*, *S. popovicii*, estas especies durante la época húmeda en la capa superficial estuvieron relacionadas en la bahía de Jaramijó con parámetros de temperatura que fluctuaron entre 25.9° - 27.0° y salinidad 33.4 – 33.6 ups, durante la fase de flujo. La temperatura fue ligeramente superior en reflujo con valor de temperatura 27.1° y salinidad de 33.8 ups.

Durante la época seca, se determinó de igual manera la presencia del género *Sagitta*, en la bahía de Jaramijó y se registró la dominancia de *S. bedoti*, *S. peruviana* y *S. enflata*. Adicionalmente a estas especies se observó la presencia de *S. minima* y *S. neglecta*, estas últimas especies no se observaron durante la época húmeda, la cual estuvo influenciada por la condición oceanográfica atípica con ligeras anomalías positivas. Ahora bien estas especies estuvieron presentes con temperaturas similares a las observadas en la época húmeda, la temperatura menor fue 25.9 ° con salinidad de 33.6 ups, y la mayor temperatura que se registró fue 26.7° y salinidad de 33.1 durante flujo. Cabe destacar que las especies correspondiente al grupo cladóceros no presentaron diferencias cualitativas, cuantitativa y estacional en relación a las especies *Penillia avirostris* y *Evadne tergestina*, siendo la especie *P. avirostrotri* dominante en relación a *E. tergestina* durante la época seca y húmeda.

En la bahía de Jaramijó se determinó que la mayor biomasa de zooplankton se registró en la época húmeda especialmente en el perfil 1 correspondiente a (E-3- 4) y en el perfil 2 (E- 9) durante la fase de flujo, en comparación a la época seca. La menor biomasa se registró en el perfil 3 (E-12) durante la época seca. Estos cambios en el patrón de la distribución estacional de la biomasa del zooplankton se atribuyen sobre todo a las condiciones oceanográficas registradas durante los meses en estudio.

Microbentos: Época Húmeda (Abril 2008)
En general en toda el área de estudio durante la época lluviosa (Abril-2008), la microfauna fue muy pobre en algunas estaciones de muestreo y en otras ausente. En cambio las especies de la microflora resultaron ausentes. Figura 9.

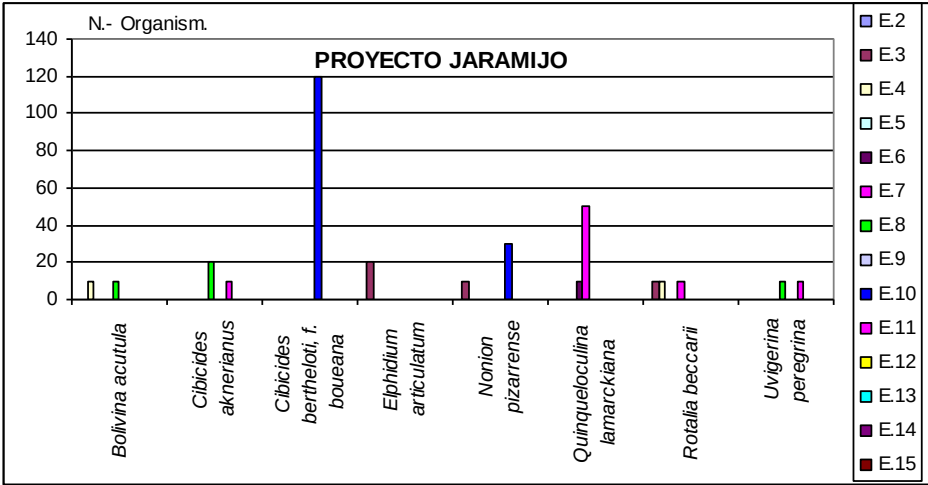


Figura 9. Distribución de las Especies del Microbentos de la bahía de Jaramijó, Abril 2008.

Las especies identificadas en el área de la bahía de Jaramijó son: *Bolivina acutula* con el 6%, *Cibicides aknerianus* el 9%, *Cibicides berteloti* f. *boueana* el 35%, *Elphidium articulatum* 6%, *Nonion pizarrense* el 12%, *Quinqueloculina lamarckiana* el 18%, *Rotalia beccarii* 9% y *Uvigerina peregrina* el 6% y corresponden a la provincia zoo geográfica Panameña propuesta por Boltovskoy (1965) y confirmada por Boltovskoy y Gualancañay (1975) y Gualancañay (1986). Figura 10.

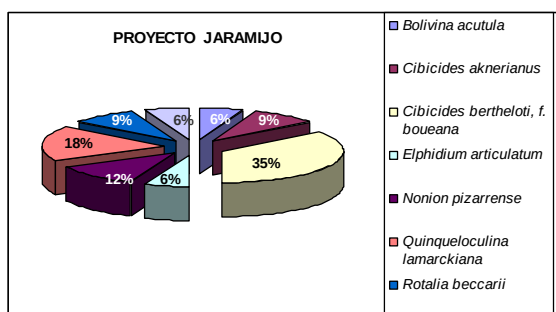


Figura 10. Especies de foraminíferos, típicas de la provincia zoogeográfica Panameña

Las especies más predominantes de acuerdo a su abundancia relativa fueron: *Cibicides bertheloti*, f. *boueana* con el 55 %, *Quinqueloculina lamarckiana* con el 27% y *Nonion pizarrense* con el 18%.

Época Seca (Septiembre 2008): En general en toda el área de estudio durante la época seca (Septiembre-2008), la frecuencia relativa de la microfauna fue desde pobre hasta rara y ausente en las estaciones 2, 10, 11, 12, 13, 14 y 15. En cambio la especies microflora fue ausente.

Durante las dos estaciones del año, se puede apreciar que en la estación 2 hay una coincidencia en la ausencia de microflora y microfauna bentónica. El número de especies identificadas encontradas en el área de estudio fue similar durante los meses de Septiembre y de Abril de 2008. En las dos épocas se reportaron en total 8 y 9 especies de foraminíferos bentónicos. Sin embargo la distribución fue diferente durante las estaciones del año, la ausencia de especies fue notoria para las dos épocas pero en diferentes estaciones localizadas en el área. Durante el mes de Abril de 2008 fue evidente la ausencia de especies en las estaciones 12, 13, 14 y 15, en cambio en Septiembre fue notoria la ausencia de especies en las estaciones 10, 11, 12, 13, 14 y 15 en la bahía de Jaramijó.

Las especies identificadas en el área de la bahía de Jaramijó durante el mes de Septiembre de 2008 fueron: *Bolivina acutula*, *Buliminella elegantísima*, *Cibicides berteloti* f. *boueana*; *Elphidium articulatum*, var. *typica*; *Elphidium articulatum*, var. *spinata*; *Nonion pizarrense*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Quinqueloculina granulosa*, *Rotalia beccarii* y *Virgulina pontoni* y corresponden a la provincia zoogeográfica Panameña propuesta por Boltovskoy (1965) y confirmada por Boltovskoy y Gualancañay (1975) y Gualancañay (1986).

Las especies predominantes de acuerdo a su abundancia relativa, durante la fase seca fueron: *Nonion pizarrense* con el 20%, *Rotalia beccarii* con el 20% y *Quinqueloculina granulosa* con el 15%, *Cibicides bertheloti*, f. *boueana* el 10%; *Elphidium articulatum* f. *tipica* el 10% y corresponden a la provincia zoogeográfica Panameña propuesta por Boltovskoy (1965) y confirmada por Boltovskoy y Gualancañay (1975) y Gualancañay (1986).

Macro bentos: Época Húmeda (Abril 2008):

De las ocho estaciones estudiadas en la zona intermareal de la bahía de Jaramijó, las seis especies de moluscos que se observaron pertenecen al sustrato rocoso porque en el sustrato arenoso no se observaron moluscos. En la estación No. 1 donde todo es roca, se pudieron observar dos especies de gasterópodos, *Thais melones*, que es la especie más abundante y dominante en el ecosistema intermareal rocoso y *Columbella strombiformis*, que prefiere asociarse a los charcos de agua que quedan al bajar la marea. En la estación No. 2 en el sustrato rocoso se observó una especie *Littorina paytensis*, especie que caracteriza un ecosistema asociado en el límite de la pleamar.

Desde la estación No. 3 hasta la estación No. 7, en el sustrato arenoso no se encontraron moluscos, en la estación No. 8, en una roca se observaron tres especies: *Brachidontes puntarenensis*, que domina el ecosistema en esta estación, en menor abundancia existen dos gasterópodos *Colisella cf strigatella* y *Siphonaria aequiliorata*. La abundancia relativa al tipo de muestreo estuvo representada por *Littorina paytensis* con el 51,9 % y *Brachidontes puntarenensis* con el 43,2 %.

El Filum Anélidos está representado por los poliquetos. Del número total de individuos identificados. la especie *Polydora websteri* de la

familia *Spionidae* fue la más frecuente del área y representa el 40% del total de poliquetos, prefiere vivir en sustratos rocosos y arena limosa.

De todas las estaciones estudiadas en la zona intermareal, se observó que el área está caracterizada por poseer zonas de rocas en el área del faro y de playas arenosas cerca del pueblo de Jaramijó, la mayor riqueza de organismos macrobentónicos fueron determinadas en las

zonas rocosas, se identificaron 3 especies, siendo *Polydora websteri* la especie más abundante.

La malacofauna submareal estuvo representada por siete especies, habiéndose encontrado que en la estación 9 la mayor diversidad de moluscos, predominando los ejemplares pequeños y juveniles, observándose que una gran cantidad de juveniles han preferido el área desde la estación 9 hasta la estación 13. Figura. 11.

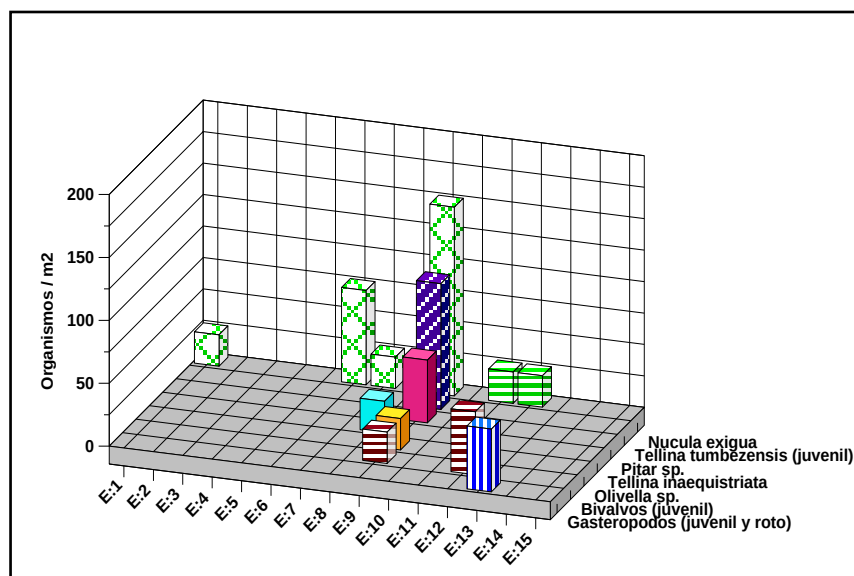


Figura 11. El bivalvo *Nucula exigua* fue la especie más abundante.

La especie más abundante fue *Nucula exigua* con el 48 %, seguida del bivalvo *Tellina tumbezensis* con el 16 %, que se presentaron solo ejemplares juveniles. Del análisis de los sustratos limo arenosos submareales se identificaron 9 especies de poliquetos bentónicos siendo la especie *Polydora websteri* la más abundante con el 24%, seguidos por la especie *Nephtys singularis* con el 5% *Capitella* sp. (5%), *Onuphis nebulosa* (3%), *Glicera* sp. (3%) y *Nereis* sp. (2%). De las 15 estaciones estudiadas entre los 5 y 20 m. de profundidad se observó la mayor riqueza de la macrofauna bentónica en los perfiles 2 y 3 principalmente en las estaciones 5 – 6 – 7 – 11 y 12, mientras que la mayor abundancia de organismos se la encontró en las estaciones 3 – 8 – 9 – 11 y 15 respectivamente.

En el perfil 1, se observaron 7 especies de macro invertebrados, entre los poliquetos identificados *Polydora websteri*, es la especie más representativa y que está caracterizando este perfil. Además, entre los crustáceos se identificaron a los anfípodos y cumáceos son los más importantes.

Para el perfil 2, entre los poliquetos identificados *Polydora websteri* es la especie que predomina principalmente en las estaciones 8 y 9. Entre los crustáceos los isópodos son los más importantes. Pocos simpuncúlidos del género *Plascolosoma* sp.. En este perfil se encontraron equinodermos del grupo de los Equinoideos. Todas estas especies prefieren vivir en sustratos limo arenosos y caracterizan un ecosistema equilibrado.

En el perfil 3 se identificaron 11 especies, representados mayormente por los crustáceos del grupo de los anfípodos, además, se identificaron poliquetos de la familia *Spionidae* con la especie *Polydora websteri*, otras especies en menor cantidad *Capitella* sp., *Nephtys singularis* y *Nereis* sp.

Época seca (Septiembre 2008):

La malacofauna submareal de Jaramijo, durante la estación seca estuvo representada por 21 especies de moluscos, 13 bivalvos que representan el 61,9 %, 5 gasterópodos, representan el 23,8%

y 3 especies de escafópodos con el 14,3 %. La especie *Nuculana eburnea* con una densidad de 460 organismos/m² es la especie de mayor abundancia relativa, en segundo lugar esta *Nucula exigua* con una densidad de 280 org./m², en tercer

lugar el escafópodo *Cadulus perpusillus* con una densidad de 140 org./m². De la clase gasterópodo, *Sulcoretusa* sp. con una densidad de 120 org./m², representa una abundancia relativa del 7,3 %. Figura 12.

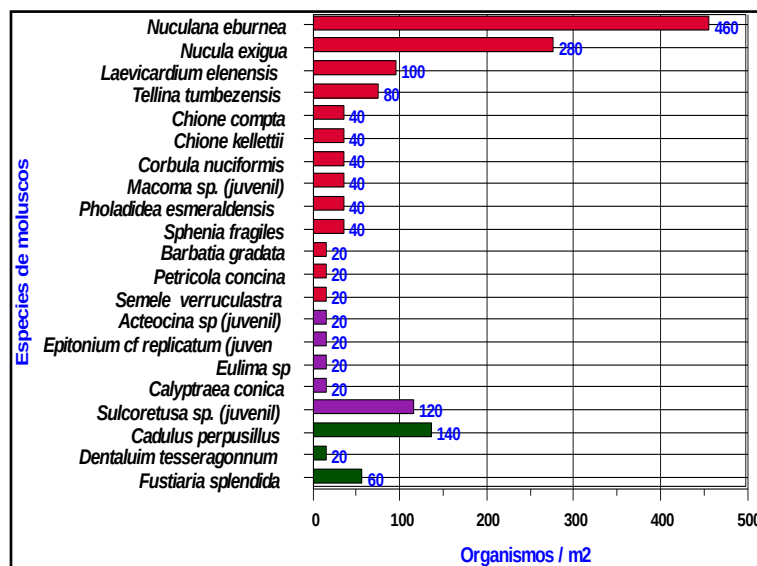


Figura 12. Bivalvo *Nuculana eburnea* con 460 org./m² es la especie que presentó la mayor densidad en la zona submareal durante la época seca.

Se observó la presencia de bivalvos perforadores de sustratos duros como *Petricola concina* con el 1,2 % y *Pholadidea esmeraldensis* con el 2,4 %, pero son considerados escasos. La mayor abundancia relativa la presentó el bivalvo *Nuculana eburnea* con el 28 % de los Escafópodos fue *Cadulus perpusillus* con el 8,5 % y de los gasterópodos *Sulcoretusa* sp. con el 7,3 % que se presentaron solo ejemplares juveniles y ningún adulto, que pueda mostrar sus verdaderas características taxonómicas, por lo que se prefirió dejar la especie como sp. La clase bivalvia o pelecypoda, que es la más abundante, es la que ha presentado la mayor frecuencia de presencia, pero se puede considerar que la frecuencia de presencia ha sido relativamente pobre, son pocas especies las que han mantenido su frecuencia como el bivalvo *Nucula exigua* y el escafópodo *Cadulus perpusillus* con el 12,5 %, la clases gasterópoda ha sido la menos frecuente y solo el género *Sulcoretusa* sp. que se presentó en estadios juveniles representó solo el 7,3%. La frecuencia de presencia relativamente pobre indica que la distribución de las especies están dispersas y son solo pocas las poblaciones que están tipificando el ecosistema y que las especies raras o escasas pueden ser temporales para el área de Jaramijó. Para observar la distribución de

cada una de las especies, puede apreciarse que son pocas las poblaciones que además de ser abundantes son frecuentes y están determinando que el ecosistema de Jaramijó es realmente su hábitat como los bivalvos *Nuculana eburnea*, *Nucula exigua* y el escafópodo *Cadulus perpusillus*, que se ha presentado con individuos adultos, que tienen muy buena calcificación de la concha y su abundancia relativa y frecuencia ratifican que Jaramijó es su hábitat. Figura 13.

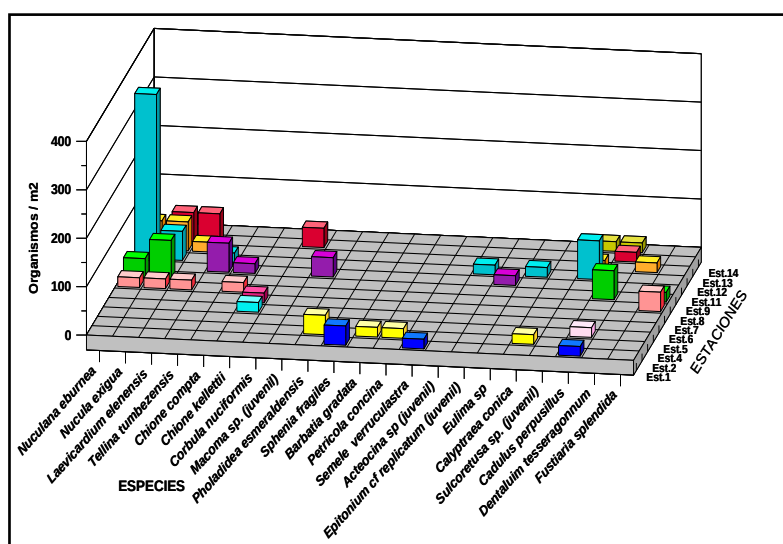


Figura 13. De las 21 especies identificadas el bivalvo *Nuculana ebúrnea* en la estación 11 y el escafópodo *Cadulus perpusillus* en la estación 8 fueron las más abundantes en Jaramijó durante la estación seca 2008

El macrobentos en todas las estaciones se observó que en la estación 11 se encontró la mayor abundancia relativa representado por el 31,3 %, habiéndose observado que en su distribución la mayor abundancia relativa se localiza en un gran parche, entre las estaciones 7 y 13. Las estaciones con mayor pobreza son: la 15, 4, 5 y 6. Un ligero parche lo forman las estaciones 1 y 2. En la zona infralitoral el análisis de los sustratos limo arenosos submareales se identificaron 8 especies de poliquetos bentónicos siendo la especie *Polydora websteri* la más abundante con el 21% y muy frecuente en todas las estaciones muestreadas, Asimismo la especie *Capitella sp.* (7%), *Orbinia sp.* (4%), *Onuphis nebulosa* (5%), *Glicera sp.* (5%), *Nephtys singularis* con el 6.4%, *Paraonis sp.* (4%) y *Cirratulus sp.* (4%).

En el perfil 1 se identificaron 8 especies de poliquetos entre ellos *Maldene sp.*, *Polydora websteri*, *Capitella sp.*, *Onuphis nebulosa*, *Glicera sp.*, *Orbinia sp.*, *Nereis sp.*, y *Nephtys singularis*, Los crustáceos (32%), representados por anfípodos y cumáceos son los más abundantes, Estas especies prefieren vivir en sustratos arenosos.

En el perfil 2, los poliquetos identificados, *Polydora websteri*, *Capitella sp.*, *Onuphis nebulosa*, *Glicera sp.*, *Orbinia sp.*, *Nereis sp.*, *Maldene sp.* y *Nephtys singularis*. Entre los crustáceos anfípodos, isópodos, decápodos y cumáceos son los más importantes. Estas especies prefieren vivir en sustratos arenosos y tipifican un ecosistema equilibrado. En

este perfil no se encontraron equinodermos.

En el perfil 3 se identificaron 11 especies, los poliquetos fueron abundantes representados por *Maldene sp.*, *Polydora websteri*, *Capitella sp.*, *Onuphis nebulosa*, *Glicera sp.*, *Orbinia sp.*, *Nereis sp.*, y *Nephtys singularis*. Entre los crustáceos cumáceos y anfípodos son los más abundantes. En este perfil se identificaron equinodermos representados por Ophiuridos. De todas las estaciones estudiadas los poliquetos bentónicos fueron los más numerosos con el 59%, luego los crustáceos (35%) y muy pocos los equinodermos (6%). De las 20 estaciones estudiadas, se observó la mayor riqueza de la macrofauna bentónica en las estaciones 3 – 9 y 14 con más de 6 especies, mientras que la mayor abundancia de organismos se la encontró en las estaciones 9 - 13 y 14 (Org. X m²).

CONCLUSIONES:

- Se establece que durante la época húmeda se observó la mayor concentración de Clorofila a en relación a la época seca. Durante esta época en el Perfil 3, en las Estaciones 11 a 15 y durante el estado de flujo se registraron aguas productivas con rangos entre 1.06-1.22 mg/m³ en superficie y en fondo mientras que en refluo se registraron valores productivos de 0.86- 1.14 mg/m³. Relacionando estos valores con los valores de la época seca se observó una disminución de la productividad primaria con valores de 0.58 - 0.86

mg/m³ durante flujo y reflujo.

- En la época húmeda en el Perfil 1, en las estaciones 1 a 5 durante el estado de flujo se observó una abundante biomasa celular con valores de 1.406 cel/l en superficie. Mientras que en el estado de reflujo se registró una moderada concentración celular de 901 cel/l en el fondo. Relacionando las dos épocas del año, se observa en la época seca una leve disminución de la biomasa con 1120 cel/l en superficie y 477 cel/l en fondo, con 25 especies en flujo y 29 especies en reflujo.

- Las especies predominantes de diatomeas fueron: *Bacteriastrum hyalinum*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Chaetoceros affinis* y *Ch. curvisetus*, con escasa presencia de dinoflagelados y cianobacterias, por lo tanto estas especies se encontrarían tipificando una mezcla de masas de aguas frías, neríticas, que en términos generales su abundancia se considera productiva para la presente época.

- En términos de abundancia de zooplancton se determinó que la mayor biomasa fue registrada durante la época húmeda en el perfil 1 y 2 correspondiente a las estaciones 3 y 9 durante la fase de flujo. Características poco usuales a las condiciones de los patrones típicos, posiblemente favorecidas por las condiciones frías que se presentaron durante la época húmeda del año 2008. La menor biomasa de zooplancton se registró en el perfil 3, en la estación 12 cerca a la costa. Se reporta durante la época húmeda la presencia de las especies correspondiente al género *Sagitta*: *S. bedoti*, *S. peruviana* y *S. enflata* cuya presencia fue frecuente y dominante y en menor abundancia la especie *S. popoviccii*. Las especies *S. popoviccii* y *S. peruviana*, caracterizaron condiciones frías propias de Corriente de Humboldt, durante la época húmeda.

- Durante la época seca, se determinó de igual manera la presencia del género *Sagitta*, en la bahía de Jaramijó se registró la dominancia de *S. bedoti*, *S. peruviana* y *S. enflata*. Adicionalmente a estas especies se observó la presencia de *S. minima* y *S. neglecta*, estas últimas especies no se observaron durante la época húmeda, la cual estuvo influenciada por la condición oceanográfica atípica con ligeras anomalías positivas. Esta asociación de

especies de ambiente nerítico y oceánico que caracterizaron procesos de mezcla de aguas frías y cálidas, y sobre todo por la dominancia de *S. bedoti* que caracteriza la presencia de Frente Ecuatorial. Ahora bien estas especies estuvieron presentes con temperaturas similares a las observadas en la época húmeda, la temperatura menor fue 25.9 ° con salinidad de 33.6 ups, y la mayor temperatura que se registró fueron 26.7° y salinidad.

- En la época seca se registró una mayor diversidad de especies de quetognatos determinándose a *S. bedoti*, *S. enflata* *S. peruviana* y las especies *S. neglecta* y *S. minima*. Esta asociación de especies de ambiente nerítico y oceánico que caracterizaron procesos de mezcla de aguas frías y cálidas, y sobre todo por la dominancia de *S. bedoti* que caracteriza la presencia de Frente Ecuatorial.

- El microbentos en las estaciones seca y lluviosa del año 2008 en la bahía de Jaramijó el único orden hallado en toda el área fue el Foraminiferida con un máximo de 9 especies y con una distribución relativa de muy pobre a pobre. En cuanto a número de organismos distribuidos no fue uniforme para toda el área de estudio.

- Durante la fase lluviosa de 2008 en la bahía de Jaramijó las especies de la microfauna bentónica tuvieron una distribución relativa muy pobre y en algunos casos ausente. Lo contrario a la microflora béntica que se mantuvo ausente en toda el área de estudio.

- Durante la fase seca de 2008, en la bahía de Jaramijó las especies de la microfauna bentónica tuvieron una distribución relativa de pobre a escasa y en algunos casos ausente. Lo contrario a la microflora béntica que se mantuvo ausente en toda el área de estudio.

- Las especies identificadas en Abril de 2008 en el area de estudio: *Bolivina acutula*, *Cibicides aknerianus*, *Cibicides berteloti* f. *bouena*, *Elphidium articulatum*, *Nonion pizarrense*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Rotalia beccarii* y *Uvigerina peregrina* son típicas de aguas poco profundas y corresponden a la provincia zoogeográfica Panameña.

- Las especies predominantes de acuerdo a su abundancia relativa durante la fase seca fueron: *Nonion pizarrense* con el 20%, *Rotalia beccarii* con el 20% y *Quinqueloculina granulosa* con el 15%, *Cibicides bertheloti*, f. *boueana* el 10%; *Elphidium articulatum* f. *typica* el 10%.

- Las especies predominantes en toda el área de acuerdo a su abundancia relativa fueron: *Cibicides bertheloti*, f. *boueana* con el 55 %, *Quinqueloculina lamarckiana* con el 27% y *Nonion pizarrense* con el 18%.

- Durante la época húmeda, en el área de Jaramijó se identificaron trece especies de moluscos, seis en la zona intermareal con preferencia el sustrato rocoso y siete en la zona submareal en sedimentos blandos, mientras que en la época seca se encontraron 21 especies de moluscos 13 bivalvos y 5 gasterópodos, habiéndose encontrado una mayor diversidad durante la época seca.

- En la zona intermareal durante la época húmeda, se encontró un bivalvo y cinco gasterópodos, de los cuales *Littorina paytensis* y *Brachidontes puntarenensis* son los más abundantes, siendo *Thais melones* la especie dominante del área, que controla las poblaciones de los bivalvos y los gasterópodos, Esta relación se ha mantenido en la época seca.

- Puede concretarse que durante la estación seca la diversidad de moluscos es mayor que durante la estación húmeda y el número de estaciones donde la abundancia relativa es significativa, también aumentó durante la estación seca.

- Para la época húmeda en el área de la Bahía de Jaramijó está caracterizada por poliquetos de la familia Spionidae con la especie *Polidora websteri*, también la especie *Syllis elongata* de la familia Syllidae.

- Del análisis de los sustratos submareales arenosos son característicos 13 especies de poliquetos bentónicos siendo la especie *Capitella* sp. abundante, además, la especie *Sabella* sp., *Orbinia* sp., *Glicera* sp., *Onuphis nebulosa*, *Ophelia* sp. y *Nephtys singularis* con el 3% respectivamente. *Paraonis* sp. y *Cirratulus* sp.

- En la zona infralitoral de los sustratos limo arenosos submareales están caracterizados por la presencia de 8 especies de poliquetos bentónicos siendo la especie *Polydora websteri* la más abundante y muy frecuente en todas las estaciones muestreadas, Asimismo la especie *Capitella* sp., *Orbinia* sp., *Onuphis nebulosa*, *Glicera* sp., *Nephtys singularis*, *Paraonis* sp. y *Cirratulus* sp.

- Los Celenterados son característicos entre las rocas principalmente anémonas, los crustáceos con las especies *Balanus* sp. que se encuentran fijos o encostrados en las rocas y, cangrejos *Grapsus grapsus*.

- Para la época seca son características los Celenterados principalmente anémonas, los crustáceos con las especies *Balanus* sp. que se encuentran fijos o encostrados en las rocas y cangrejos *Grapsus grapsus*.

- En la época seca se observaron tres especies de escafópodos, que no se observaron en la época húmeda.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores, desean dejar constancia de sus agradecimientos al Señor Director de INOCAR y al Señor Jefe del Departamento de Ciencias del Mar por brindar su apoyo incondicional para la publicación del presente artículo.

BIBLIOGRAFIA

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

Arcos, F. y M.A. 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). 14-23p.

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

Bieri R. y 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 p

Boltovskoy, D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y método de trabajo con el zooplancton marino. Mar del Plata. Argentina. 3-859 p.
Boltovskoy, E. 1965. Los Foraminíferos Recientes (biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica). 510 pp., 114 texfigs., EUDEBA, Buenos Aires.

Boltovskoy, E. y E. Gualancañay. 1975. Foraminíferos Bentónicos Actuales de Ecuador. I.- Provincia Esmeraldas.- Inst. Ocean., Biol., vol.5, p. 1-56.

Bonilla D. 1983. Estudio Taxonómico de los Quetognatos del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico Vol. 2 (2): 509-567 p.

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

Briones, E., A. Flachier, J. Gómez, D. Tirira, I. Jaramillo y C. Chiriboga. 1997. Inventario de Humedales del Ecuador. I Parte: Humedales Lénticos de las provincias de Esmeraldas y manabí. Eco Ciencia/INEFAN/Convención.

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.

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) 161-167p.

Cronberg, G., y H. Annadotter. 2006. Manual on Aquatic Cyanobacteria. Intergovernmental Oceanographic Commision of UNESCO. Institute Society for the study of Harmful Algae. Primera edición: 25-30.

Cruz, M. 1980. Moluscos-Bivalvos de la Plataforma Interna de la Provincia de Manabí. Tesis Doctoral. Universidad de Guayaquil.

De Boyd, S. 1977. Guide to Marine Coastal plankton and invertebrate larvae. Departament of biology

west valley community college, California. 157 p.

De Miró, M. y R. Jiménez, E. Gualancañay, M. Luzuriaga. 1974. Producción Primaria y Pigmentos Fotosintéticos del Fitoplancton Marino del Ecuador.- Bol., Inst., Ocean.- De la Armada CM-BIO-1174.

García M., Mena P y Suárez 1989. Identificación y Evaluación de Algunos Remanentes sobresalientes de Bosque húmedo en el occidente del Ecuador Manuscrito. Ecociencia. Quito.

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

Gualancañay, E. 1978. Foraminíferos Bentónicos de la Plataforma Interna de la Provincia de Manabí. Tesis Doctoral. Universidad de Guayaquil.

Gualancañay, E. 1983. Foraminíferos Bentónicos del Golfo de Guayaquil.- Act. Ocean., Pacífic., vol.2, n.-2, p.589-657.

Gualancañay, E. 1986. Distribución de los Foraminíferos Bentónicos del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR. INOCAR. Vol. 2(1):30.

Instituto Geográfico Militar. 1991. Atlas Geográfico Militar y de Ecuador: I – 91.

Instituto Nacional de Pesca y VECEP ALA 92/43. 1998. Diagnóstico de la actividad pesquera artesanal en el Puerto de Santa Rosa, Provincia del Guayas. Boletín Científico y Técnico. Vol. VXI (1): 1-45.

Jiménez R., 1976. El fitoplancton como posible indicador del afloramiento originado por la subcorriente ecuatorial (Corriente de Cromwell), al oeste de las Islas Galápagos-Ecuador. Memorias del seminario sobre indicadores biológicos del plancton, INOCAR:25-68.

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

Jiménez R., y Pesantes F, 1978. Fitoplancton, producción primaria y pigmentos en aguas costeras ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico.

- Jiménez, R., E. Gualancañay y M. Luzuriaga. 1972.** *Producción primaria y pigmentos fotosintéticos del fitoplancton marino del Ecuador.*
- Lenz- Volland, B. y Martín Volland. 1992.** *Distribución geográfica y técnicas de la pesca en la costa Ecuatoriana durante el período colonial: 92-113.*
- Moreno, J., S. Licea y H. Santoyo. 1996.** *Diatoms del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur: 1-280.*
- Mc Ewen, G.F., y M. Jonson, T. Folsom. 1954.** *A statistical analysis of the performance of the Folsom plankton sample splitter, based upon test observations. En Introducción al estudio del zooplankton marino. En Gasca y Suárez. 1996. Edit. ECOSUR-CONACYT, 1996. Mexico.*
- Mujica, A. y V. Ascencio. 1985.** *Larvas de peces, Eufáusidos y estructura comunitaria del zooplankton del Estrecho Bransfield (Crucero Sibex-Inach, 1984). Ser. Cient. INACH. 33: 159-186 p.*
- Naranjo, C. 2000.** *Contribución al estudio de los Quetognatos alrededor de las islas Galápagos. Acta oceanográfica del Pacífico. Vol. 10, (1) 169-179 p.*
- Ochoa, E., S. Olsen y L. Arreaga. 2000.** *Macrozonificación de la zona costera continental. Propuesta para el ordenamiento y desarrollo de la Costa Ecuatoriana. Centro de recursos Costeros de la Universidad de Rhode Island Diciembre-2000.*
- Pesantes F., 1983.** *Los dinoflagelados como indicadores de "El Niño" en el mar ecuatoriano. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR. Vol. 2 (1):85-117.*
- PMRC. 1987.** *Proyecto de manejo de recursos costeros. Ecuador perfil de sus recursos costeros. Fundación Pedro Vicente Maldonado:71- 126.*
- 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, I, 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 interrelación con el evento "La Niña 1999-2000". Tesis doctoral. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales- Ecuador.*
- Tapia y Torres 2000.** *Variabilidad fitoplanctónica en 5 Bahías, Islas Galápagos (Ecuador). Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR. Vol. 10(1): 151-159 p.*
- Tomas C., 1998.** *Identifying marine Phytoplankton. Academic Press, Florida: 1-858.*
- Torres y Tapia 2000.** *Distribución del fitoplancton y su comportamiento en el afloramiento en las islas Galápagos. Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR. Vol. 10(1): 137-150 p.*
- Tregouboff, G. y M. Rose. 1957.** *Manuel de Plantonologie Mediterraneene. Centro National de la Recherche Scientifique, París. Tomo 2.*
- Uthermohl H., 1958.** *Zur Vervollkomnung der Quantitativn phytoplankton Methodic Mitt Inter. Limnol. 9: 1-38.*
- Villón., C. y X. Beltrán. 1998.** *Diagnóstico de la actividad pesquera artesanal en el Puerto de Manta. Boletín Científico y Técnico. Instituto nacional de Pesca. Vol. XVII (4): 1-35.*
- Zambrano I., 1983.** *Tintinnidos del Golfo de Guayaquil. Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Ecuador, 2(2): 443-507.*

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SEDIMENTOS Y SU RELACIÓN CON *Capitella capitata* PARA CONOCER LA CONTAMINACIÓN DEL ESTUARIO DEL RÍO CHONE*

Patricia Paredes ⁽¹⁾

RESUMEN

Durante mayo a octubre del 2007 abarcando la época seca y lluviosa, se realizaron análisis para la determinación de hidrocarburos aromáticos totales existentes en agua y sedimentos dentro del Estuario del Río Chone mediante la técnica de CARIPOL; los análisis fueron realizados en el Instituto Oceanográfico de la Armada. Dentro del estuario se tomaron 4 estaciones cada una de ellas con un punto de referencia: Estación 1: Isla Corazón, Estación 2: Mangle 2000, Estación 3: Capitanía de Puerto, Estación 4: Repsol. Las muestras fueron tomadas una vez al mes; tomando en cuenta la radiación solar y mareas como variables para el estudio. La concentración de hidrocarburos aromáticos totales disueltos y dispersos en el agua fue entre 0.05 – 0.329 ug/L, el valor más alto fue registrado en la estación de Mangle 2000 en julio. Con respecto a las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales en sedimentos obtuvimos datos que están entre 0 – 0.039 ug/g, este valor corresponde a la Isla Corazón. Las concentraciones determinadas durante el tiempo de muestreo se encuentran dentro de los límites permisibles de las leyes y normas ambientales fijadas por la República del Ecuador. Simultáneamente se recolectaron muestras biológicas con una draga Van Veen, con tres réplicas en cada estación, pero no se registró la presencia de *Capitella capitata*; al terminar el estudio se pudo concluir que al no existir contaminación por hidrocarburos tampoco se encontró al bioindicador de este tipo de contaminación. Adicionalmente se estableció los índices de diversidad de Shannon – Wiener, obteniendo entre 0.65 - 0.91 bits para la Isla Corazón y la Capitanía de Puerto respectivamente. La baja salinidad y la alta turbidez en la Isla, causa que no haya una buena biodiversidad en este ecosistema de manglar. En cuanto a la familia Spionidae fue la que predominó con un 20 – 57%, en su abundancia relativa.

ABSTRACT

From May through October 2007 during the dry and rainy seasons, there were carried out some analyses in the Army Oceanographic Institute in order to determine the whole concentration of aromatic hydrocarbons present both in water and ground inside the Estuary of the Chone River by means of the CARIPOL technique; the variables considered in this study were the tides and the sunlight. In the Estuary there were taken four stations; each one of them had a reference point: Station One: Heart Island; Station Two: Mangrove Swamp 2000; Station Three: Captaincy of Port; and Station Four: Repsol. The samples were taken once a month. The concentration of aromatic hydrocarbons dissolved and dispersed in the water fluctuated between 0.05 and 0.329 ug/L; the highest value was registered in the Mangrove Swamp 2000 Station in July. By regarding the whole concentration of aromatic hydrocarbons in sediments, we got data between 0 and 0.039 ug/L; these values corresponded to the Heart Island Station. The concentrations determined during the time of sampling were acceptable according to the permissible limits of environmental laws and standard regulations of the Republic of Ecuador with 0.1 ug / L. Furthermore, there were gathered some biological samples with a Van Venn, with three repetitions in each one of them, but the presence of *Capitella capitata* was no registered; when finishing this research study, it was possible to conclude that when the contamination of hydrocarbons did not exist, the bio-indicator of this kind of contamination did not exist either. Also, there were established the indexes of diversity of Shannon – Wiener, getting between 0.65 and 0.91 bits for the Heart Island and Captaincy of Port Stations, respectively. The low salinity and the high turbidity on the Island make this mangrove swamp ecosystem does not have a good diversity. In the line with, the Spionidae family was prominent with 20 – 57 %, of relative abundance.

(*) Resumen de Tesis para optar el Título de Biólogo Marino

(1) Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Regional Manabí.

INTRODUCCIÓN.

Los hidrocarburos son uno de los agentes contaminantes de mayor preocupación en la actualidad, debido a que constituyen la principal fuente de energía en la sociedad moderna; provienen de la combustión de la gasolina, petróleo, carbón y/o gas natural. Consisten en diferentes compuestos, cuya estructura base corresponde a enlaces carbono-carbono y más aún la mayoría de éstos, contienen exclusivamente carbono e hidrógeno. (Rivero y Vallarino, 2005).

La mayoría de los ecosistemas marino – costeros se han visto afectados por este tipo de contaminación. En el presente estudio, se tratará acerca de uno de los ecosistemas más susceptibles y de una importancia incalculable para el medio ambiente como es el estuario del Río Chone. Los estuarios son cuerpos de agua donde la desembocadura de un río se abre a un ecosistema marino, con una salinidad entre dulce y salada (salobre) y es extremadamente valioso desde el punto de vista biológico y económico, aquí se encuentran importantes pesquerías de moluscos, crustáceos y peces estuarinos. Además, estos ecosistemas son esenciales como áreas de reproducción de una gran variedad de peces marino – costeros y crustáceos (UICN, 1995).

La ciudad de Bahía de Caráquez está asentada en el estuario del Río Chone. Dentro del mismo se desarrollan actividades como la pesquería, el transporte fluvial, paseos turísticos, donde la principal fuente de energía para la movilización y desarrollo de estas actividades, es el combustible (gasolina, diesel y aceites) de ahí la importancia de evaluar el estado en el que se encuentra el estuario, con respecto a los hidrocarburos para poder tomar medidas de prevención y corrección.

Los análisis químicos de un determinado compuesto; en este caso los hidrocarburos en una área específica, nos dan un resultado capaz de establecer el grado de contaminación, con rangos ya pre-determinados. Pero con la ayuda de indicadores biológicos podemos ser capaces de conocer la forma en que este contaminante está influyendo en la vida de los organismos. Dentro de los ecosistemas estuarinos las comunidades endo y epi bentónicas son las más expuestas y por un periodo más largo a los contaminantes, pues los sedimentos actúan como trampas donde acaban la mayoría de los contaminantes vertidos

a la columna de agua. (Caballeira, 2003).

Según (López, et al., 2001), los poliquetos son los organismos marinos más útiles para descubrir la contaminación, porque ellos viven en la interfase agua-sedimento, capa que es biológicamente activa y químicamente reactiva para monitorear los componentes tóxicos. El capitélido *Capitella capitata* ha sido considerado como indicador de contaminación por materia orgánica e hidrocarburos por alcanzar grandes cantidades de los sitios afectados. También se le ha considerado como una especie colonizadora u oportunista por su rápido arribo a algunas zonas perturbadas o desfaunadas (Grassle & Grassle, 1977 en Searver et al., 2006).

METODOLOGÍA:

Área de Estudio:

El estudio fue realizado en el estuario del río Chone, que tiene una longitud de 30 km con un ancho que varía entre 3km en su parte más ancha y 15 m en la boca del río Chone cerca de la localidad de Simbocal. Está ubicado en la provincia de Manabí y se forma por la confluencia de los Ríos Carrizal y Chone. La mayor concentración de población está en las áreas urbanas de Bahía de Caráquez y San Vicente. Hay dos áreas protegidas en el estuario, el Refugio de Vida Silvestre “La Isla Corazón y las Islas Fragatas” y el humedal La Segua que es sitio Ramsar desde el año 2000. (Coello y Macías, 2006). Se escogieron cuatro estaciones (Figura 1):

Estación # 1: 00°38'677" Sur // 080°22'121" Oeste.

Estación # 2: 00°37'344" Sur // 080°25'307" Oeste.

Estación # 3: 00°36'489" Sur // 080°25'377" Oeste.

Estación # 4: 00°36'178" Sur // 080°25'362" Oeste.

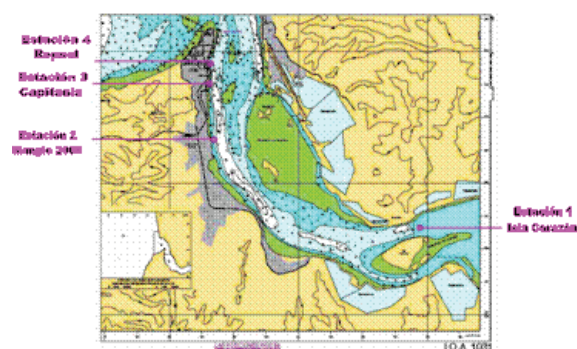


Figura 1. Mapa del Estuario del Río Chone con la ubicación de las estaciones de muestreo (INOCAR, 2007. Modificado por Paredes, 2008)

El monitoreo fue realizado por un periodo seis meses, con una muestra por mes en marea baja y con la ausencia completa de radiación solar debido a las propiedades de evaporación que poseen los hidrocarburos, para su mejor determinación; las muestras tomadas, fueron en agua y sedimentos; así como también la determinación de un bioindicador. Para los análisis químicos no se realizaron réplicas debido a que el método cuenta con la elaboración de las curvas de calibración; así como blancos pasados por las columnas antes de analizar las muestras, dándole confiabilidad al método. Pero para las muestras biológicas sí se realizaron réplicas en un número de tres.

Determinación de los Hidrocarburos en el agua mediante técnica (CARIPOL 1980) modificada:

Para la movilización se utilizó una embarcación con motor fuera de borda Yamaha de 75HP. Una vez que se llega a la estación, cuando la embarcación está completamente detenida se lanza la botella color ámbar de 4 L, la misma que cuenta con un peso para sumergirla a una profundidad de 1m. Se recoge la muestra de agua y se añaden 75 ml de hexano, se debe agitar vigorosamente durante 10 minutos, luego se abre la tapa para que se escapen los vapores del hexano y se almacena la muestra rotulada.

Una vez en el laboratorio, se procede a realizar la extracción de los hidrocarburos de la muestra tomada, con la ayuda de un embudo separador de 500 ml, se separa la fase acuosa, para almacenar en frascos color ámbar únicamente el extracto del hexano con el hidrocarburo de la muestra y se lo refrigera hasta su análisis.

El extracto es colocado y pasado por una columna de sílica gel hidratada al 2%, el producto es recibido en una cápsula de porcelana para trasladarlo luego a una probeta de 10ml (Foto 1), para leer el volumen recibo; para la lectura se utilizó el espectrofotómetro marca Milton Roy a 310nm (Foto 2).

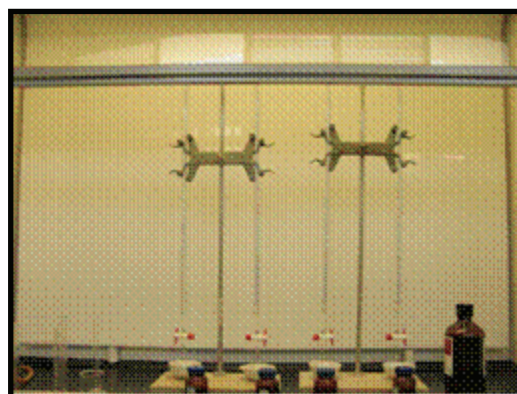


Foto 1. Columnas de sílica gel por donde se pasan las muestras.



Foto 2. Espectrofotómetro para realizar las lecturas de la concentración de hidrocarburos.

Cálculos:

$$x = \frac{y - b}{a} = \frac{\mu g}{a}$$

y = Absorbancia de la muestra

a = La pendiente de la ecuación de la curva de calibración.

x = Concentración que se debe averiguar.

b = Intercepto de la ecuación de la curva de calibración.

$$\frac{\mu g}{L} = \frac{\left[\frac{\mu g}{ml} \right] \div V_{extracto}(ml)}{V_{muestra}(L)}$$

$[ug/L]$ = Concentración en microgramos por litro.

$[ug/ml]$ = Concentración en microgramos por mililitros.

$V_{extracto}$ = Volumen del extracto de la muestra (después de pasar la muestra por las columnas).

$V_{muestra}$ = Volumen de la muestra (agua desechada durante la extracción).

Determinación de los Hidrocarburos en sedimento mediante técnica (Caripol 1980) modificada: (Eaton et al., 2005)

La muestra se colectó con una draga tipo Van Veen y fue colocada en recipientes de vidrio hermético debidamente rotulados, para almacenarlas en refrigeración hasta el momento del análisis. Una vez en el laboratorio, se colocó aproximadamente 200g de la muestra húmeda en papel aluminio y se secó en una estufa a 50°C, durante 48 horas. Una vez seca la muestra se molió en un mortero eléctrico para proceder a tomar una submuestra de 30 g de sedimento seco; la misma que fue colocada en un matraz para agregarle 100ml de metanol, 3g de hidróxido de potasio y cuerpos de ebullición. La mezcla fue llevada a reflujo (Foto 3) durante una hora y 30 minutos, se transvasó la fase alcohólica a un embudo de separación y se le agregan 50 ml de hexano; se agita durante 2 minutos y se dejó en reposo para que se separen las dos fases para extraer el hexano con los hidrocarburos de la muestra y someter al extracto a mismo procedimiento de las muestras de agua.

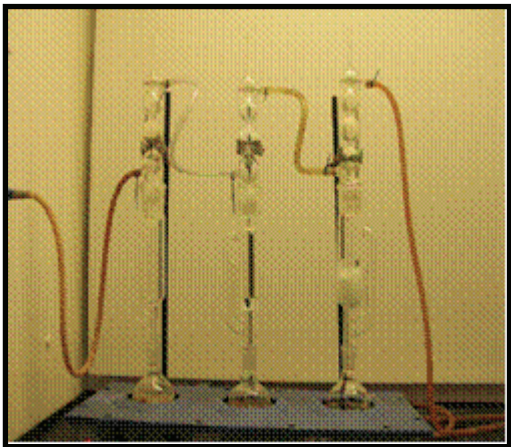


Foto 3. Equipo de Soxhlet para extraer los hidrocarburos en los sedimentos.

Cálculos:

$$\frac{\mu g}{g} = \frac{\left[\frac{\mu g}{ml} \right] \div V_{extracto}(ml)}{peso\ muestra(g)}$$

[ug/g] = Concentración en microgramos por gramo.

[ug/ml] = concentración en microgramos por mililitros.

Vextracto = Volumen del extracto de la muestra (después de pasar la muestra por las columnas).

Peso muestra = Peso de la muestra ya seca.

Recolección y Procesamiento de las muestras de poliquetos:

La toma de muestra fue realizada con la ayuda de una draga Van Veen, una vez tomada la muestra se la colocó en recipientes plásticos rotulados. En el laboratorio se tamizó el sedimento con la ayuda de de un tamiz de 335μ y para diferenciar la materia orgánica y separa de mejor manera la muestra se colocó una gota de rosa de bengala. A los poliquetos separados se los colocó en una solución de cloruro de magnesio al 7,3% en agua de mar, durante varias horas. Para la fijación se colocaron a los organismos en formol al 10% neutralizado por un periodo de 24 horas, posteriormente se lavó las muestras fijadas con agua dulce para preservarlas en alcohol al 70% (Brusca, 1973 en Mair et al. 2000). Finalmente la identificación de las muestras fue realizada con la ayuda de un estereoscopio y microscopio, con el montaje de placas y la revisión de los organismos con las respectivas claves taxonómicas.

Cálculos:

Número de organismos x 25 = densidad de organismos/ m²

Índice de Shannon y Wiener:

$$H' = - \sum p_i * \log p_i$$

pi = número de individuos de cada especie / # de individuos de toda la muestra.

RESULTADOS

Tabla 1. ANOVA de una vía para relacionar las concentraciones de hidrocarburos en sedimentos entre las estaciones de muestreo.

	DF	SS	MS	F	Prob.>F
Entre	3	2.41928E-005	8.06425E-006	0.0722865	0.9741
Dentro	19	0.00211963	0.00011156		
Total	22	0.00214383	0.016087		
Estás medias	No hay una diferencia significativa entre las medias de las estaciones (F = 0.0722865, DFI = 3, DF2 = 19, P = >0.05)				

* DF= grados de libertad
 ** SS= Suma de cuadrados
 *** MS= Cuadrado media entre las muestras
 **** F= Test estadístico
 ***** Prob= Probabilidad

Con la ayuda del ANOVA Tabla (1), usando el programa QED Estadístico podemos observar que no existe una diferencia significativa entre las estaciones con respecto a la concentración de hidrocarburos aromáticos en los sedimentos, el test estadístico con un valor F de 0,0722865 y una probabilidad de 0,9741 ($p \geq 0,05$) nos muestra la similaridad entre las muestras.

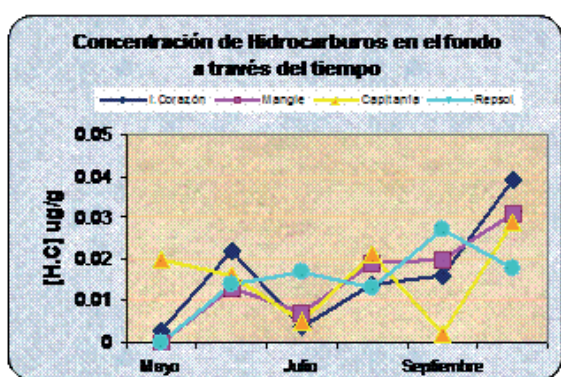


Gráfico 1. Gráfico comparativo de los hidrocarburos aromático totales en sedimentos entre todas las estaciones de muestreo a través del tiempo.

Durante los meses de muestreo comprendidos entre mayo – octubre del 2007, en la estación de la Isla Corazón se encontró una concentración de hidrocarburos aromáticos totales entre 0.003 – 0.039 ug/g. En la estación de Mangle 2000 se obtuvo concentraciones entre 0 – 0,031 ug/g; mientras que en la estación de la Capitanía de Puerto las concentraciones variaron entre 0.02 – 0.029 ug/g. La última estación ubicada en la Gasolinera Repsol obtuvo valores entre 0.013 – 0.027 ug/g. (Gráfico 1)

Tabla 2. ANOVA de una vía para relacionar las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales disueltos y dispersos en el agua entre las estaciones de muestreo.

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	Prob.>F
Entre	3	773.182	257.727	0.992489	0.4165
Dentro	20	5193.56	259.678		
Total	23	5966.74	3.38254		
Estás medias	No tienen una diferencia significativa entre las medias de las estaciones (F = 0.992489, DF1 = 3, DF2 = 20, P = >0.05)				

Con la ayuda del ANOVA Tabla (2) usando el programa QED Estadístico, se observó que en el ámbito superficial no existe una diferencia significativa de los valores registrados de hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos en el agua (HDD) entre las estaciones de muestreo, el test estadístico con un valor F de 0,992489 y una probabilidad de 0.4165, ($p \geq 0,05$).

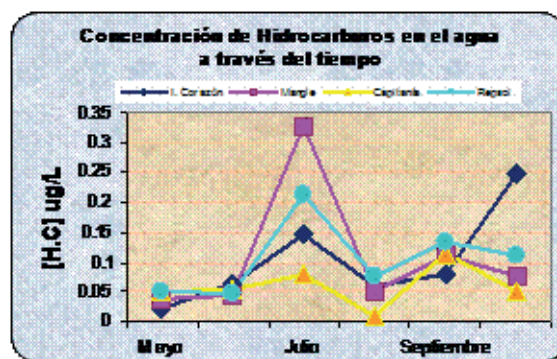


Gráfico 2. Gráfico comparativo de los hidrocarburos aromáticos totales disueltos y dispersos en el agua entre todas las estaciones de muestreo a través del tiempo.

Durante los meses de muestreo comprendidos entre mayo – octubre del 2007 (Gráfico 2), en la estación de la Isla Corazón se encontró una concentración de hidrocarburos aromáticos totales disueltos y dispersos en el agua entre 0.021 – 0.247 ug/L. En la estación de Mangle 2000 se obtuvo concentraciones entre 0.038 – 0.11 ug/L; mientras que en la estación de la Capitanía de Puerto las concentraciones variaron entre 0.011 – 0.115 ug/L. La última estación ubicada en la Gasolinera Repsol obtuvo valores entre 0.048 – 0.212 ug/L.

Tabla 3. Índice de Diversidad Shannon–Wiener aplicado a todas las estaciones de muestreo para determinar la diversidad y uniformidad de los poliquetos a nivel taxonómico de familia.

	Isla Corazón	Mangle 2000	Capitanía de Puerto	Repsol
Diversidad (H)	0.65 bits	0.73 bits	0.91 bits	0.88 bits
Uniformidad (E)	0.21	0.22	0.26	0.25

De acuerdo a los datos obtenidos podemos observar que a lo largo de los meses de muestreo la estación con mayor diversidad es la Capitanía de Puerto, la uniformidad de está estación nos indica que hay un 26% de similaridad en la abundancia de cada familia perteneciente a esta estación Tabla (3). Por el contrario la estación de la Isla Corazón es la que menos diversidad tuvo con 0.65 bits y una uniformidad de 21 %.

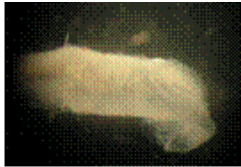
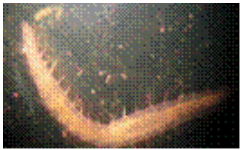
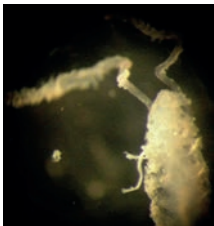
Tabla 4. Número de organismos por metro cuadrado encontrados a lo largo del periodo de muestreo en las estaciones ubicadas en el Estuario del Río Chone.

Mes de Mayo					
Estaciones	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Total
Densidad Promedio	5 ind/m ²	5 ind/m ²	6 ind/m ²	23 ind/m ²	39 ind/m ²
Mes de Junio					
Estaciones	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Total
Densidad Promedio	16 ind/m ²	11 ind/m ²	11 ind/m ²	9 ind/m ²	47 ind/m ²
Mes de Julio					
Estaciones	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Total
Densidad Promedio	14 ind/m ²	12 ind/m ²	15 ind/m ²	30 ind/m ²	71 ind/m ²
Mes de Agosto					
Estaciones	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Total
Densidad Promedio	4 ind/m ²	3 ind/m ²	6 ind/m ²	7 ind/m ²	20 ind/m ²
Mes de Septiembre					
Estaciones	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Total
Densidad Promedio	21 ind/m ²	8 ind/m ²	23 ind/m ²	19 ind/m ²	71 ind/m ²
Mes de Octubre					
Estaciones	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Total
Densidad Promedio	32 ind/m ²	2 ind/m ²	13 ind/m ²	19 ind/m ²	66 ind/m ²
Densidad Total por Estación	92 ind/m ²	41 ind/m ²	74 ind/m ²	107 ind/m ²	

El mes con menos densidad de organismos por metro cuadrado fue el de agosto con 20 ind/m², en este mes las muestras fueron tomadas en pleamar y al lanzar la draga el agua que se encontraba en un nivel más alto generó resistencia. Otro mes en el que se observa una baja densidad de los poliquetos es el de mayo con 39 ind/m². Por el contrario en julio y septiembre observamos la mayor cantidad de organismos por metro cuadrado con valores de 71 ind/m² en cada mes (Tabla 4).

A lo largo del monitoreo biológico se encontraron varias familias de poliquetos en el estuario del Río Chone; a pesar de no haber sido el principal objetivo del estudio, ya que únicamente se deseaba encontrar la especie indicadora *Capitella capitata*; éstas fueron registradas para establecer una línea base en el ecosistema del estuario ya que no existe un registro previo. Algunas de las familias han sido presentadas en la (Tabla 5).

Tabla 5. Familias de poliquetos presentes en el Estuario del Río Chone.

Clasificación	Foto de Organismo
Clase: <i>Polychaeta</i> Subclase: <i>Sedentaria</i> Orden: <i>Capitellida</i> Familia: <i>Capitellidae</i>	 Foto 4. <i>Mediomastus californiensis</i>
Clase: <i>Polychaeta</i> Subclase: <i>Sedentaria</i> Orden: <i>Capitellida</i> Familia: <i>Capitellidae</i>	 Foto 5. <i>Notomastus</i> sp.
Clase: <i>Polychaeta</i> Subclase: <i>Sedentaria</i> Orden: <i>Capitellida</i> Familia: <i>Maldanidae</i>	 Foto 6. <i>Maldanidae</i>
Clase: <i>Polychaeta</i> Subclase: <i>Sedentaria</i> Orden: <i>Opheliida</i> Familia: <i>Opheliidae</i>	 Foto 7. <i>Opheliidae</i>
Clase: <i>Polychaeta</i> Subclase: <i>Sedentaria</i> Orden: <i>Sternaspida</i> Familia: <i>Sternaspidae</i>	 Foto 8. <i>Sternaspidae</i>
Clase: <i>Polychaeta</i> Subclase: <i>Sedentaria</i> Orden: <i>Spionida</i> Familia: <i>Spionidae</i>	 Foto 9. <i>Spionidae</i> .

DISCUSIONES

La estación de la Isla Corazón es la que obtuvo mayores concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales en los sedimentos (0.003 – 0.039 ug/g), estos resultados concuerdan con lo que está citado por IPIECA, 1996 quien afirma que

las zonas de manglar son una de las más afectadas por la contaminación de hidrocarburos debido a que este contaminante se adhiere a las raíces del manglar, además de su fácil penetración en el suelo. Por el contrario la estación de la gasolinera Repsol, obtuvo valores más bajos (0.013 – 0.018 ug/g), donde a pesar de las actividades que se desarrollan en el área, se puede ver claramente que es mayor la tasa de degradación del contaminante hidrocarburo y la influencia directa de las mareas hace que haya una renovación continua.

En julio los hidrocarburos disueltos y dispersos en el agua se incrementaron en todas las estaciones, pero el mayor incremento lo presentó la estación de Mangle 2000 con una concentración de 0.329 ug/L; esto se debe, a que en este lugar se encuentra la flota pesquera de la ciudad y julio registró la mayor actividad para dicho sector, por lo que las salidas a las faenas fueron más continuas; incrementando así, el consumo de combustibles.

La menor diversidad se encontró en la Isla Corazón, correspondiente a 0.65 bits esto pudo deberse a la baja salinidad registrada en esta estación (7 – 17.6 UPS) ya que la gran mayoría de los poliquetos son marinos. Villamar, 2006, cita que existe una baja diversidad cuando hay una alta turbidez y falta de estabilidad en el ambiente marino tornándose estuarino, confirmado lo citado anteriormente y ratificando los resultados encontrados en el presente estudio.

La especie *Capitella capitata* no fue registrada en ninguna de las estaciones durante los muestreos, al ser una especie bioindicadora y relacionarla con la concentración hidrocarburos, esta ausencia está acorde con los datos químicos obtenidos, al no existir contaminación del estuario por parte de este contaminante, es natural que el mismo no este afectando a la población de los poliquetos.

CONCLUSIONES

Según la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Para el recurso Agua (Gobierno de la República del Ecuador), el límite permisible de los hidrocarburos en aguas estuarinas es de 0,0003 mg/L (0,3ug/L). Durante los meses de muestreo, los hidrocarburos disueltos y dispersos estuvieron dentro del

límite establecido a excepción de julio donde en la estación de Mangle 2000 se obtuvo una concentración de (0,329ug/L). Las aguas del estuario no se encuentran contaminadas bajo las normas y leyes ecuatorianas.

Según la Norma de Calidad Ambiental del recurso Suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, el límite permisible de los hidrocarburos en suelos es de 0,1mg /Kg (0,1 ug/g). Los hidrocarburos estuvieron por debajo del límite permisible; el sedimento del estuario no se encuentra contaminado según las normas y leyes ecuatorianas.

Ninguna estación posee una diferencia significativa de contaminación con respecto a las otras, la concentración de hidrocarburos aromáticos totales están distribuidos de manera homogénea a lo largo del estuario.

Al no tener contaminación por Hidrocarburos dentro del estuario del Río Chone tampoco se encontró la especie bioindicadora *Capitella capitata*.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Oceanográfico de la Armada por haberme abierto las puertas y darme la oportunidad de desarrollar mi tesis; en especial al departamento de Oceanografía Química y Biología. Así también a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Campus Bahía de Caráquez.

REFERENCIAS

Caballeira, A., 2003. *Consideraciones para el diseño de un programa de monitorización de los efectos biológicos del vertido del Prestige. Grupo de investigación en Ecotoxicología (ECOTOX). España. Universidad de Compostela. Vol 1., p: 2.*

Coello y Macías., 2006. *Estudio de Zonificación y Manejo de Conflictos de la Pesca Artesanal en la UCV Bahía. Informe de Consultoría para el Programa de Recursos Costeros (PMRC). Bahía de Caráquez, p: 3 – 4.*

Eaton, Clesceri, Rice & Greenberg., 2005. *Métodos Estandarizados para la Examinación*

de agua y aguas residuales. Estados Unidos de Norteamérica. Edición 21., p: 87 – 104.

IPIECA, 1996. Directrices sobre las Consecuencias Biológicas de la Contaminación por hidrocarburos. Londres., p: 7 - 13.

López, Tablado, Fonalleras, Mc. 2001. Temporal and Spatial patterns of annelid populations in intertidal sediments of Quequén Grande estuary (Argentina). Buenos Aires.

Mair, J., Mora, E., Cruz, M., Calles, A., Arroyo, M., Merino, D., 2000. Guía de Campo para la Colección y Preservación de Invertebrados Marinos. Universidad Guayaquil Facultad de Ciencias del Mar. Ecuador. Primera edición., p: 51 – 54.

Searver, E., Boore, J. 2006. ¿Porqué la secuencia de *Capitella capitata*?. JGI (Joint Genome Institute) Estados Unidos de Norteamérica.

UICN., 1995 Diagnóstico del Estado de los Recursos Naturales Socioeconómicos e Institucionales, de la Zona Costera del Golfo de Fonseca, Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.

Villamar, F. 2006. Estudio Taxonómico y Distribución de los Poliquetos Bentónicos en la Zona Intermareal de las Provincias de Esmeraldas y Manabí (Ecuador). Acta Oceanográfica del Pacífico. Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). Guayaquil. Ecuador.

Rivero & Vallarino., 2005. Primeros datos de la macrofauna del puerto de Mar de Plata (Argentina) y el uso de poliquetos como indicadores de contaminación. Argentina. Revista de Biología Marina. Vol 138.

VARAMIENTOS DE MAMÍFEROS MARINOS REGISTRADOS EN LA COSTA CONTINENTAL DE ECUADOR ENTRE 1996 Y 2009

Fernando Félix¹
Ben Haase¹
Judith Denking^{2,3}
Jéssica Falconí¹

RESUMEN

Se informa sobre 140 casos de varamientos de mamíferos marinos pertenecientes a los Órdenes Cetacea (12 especies) y Carnivora (dos especies) ocurridos en el período 1996-2009 en la costa continental ecuatoriana. Los cetáceos incluyen tres especies de mysticetos (ballenas de barba) y 9 odontocetos (delfines y ballenas dentadas). Las dos especies de carnívoros pertenecen al Suborden Pinnipedia (lobos y leones marinos). Los varamientos fueron registrados en las cinco provincias costeras, aunque con mayor proporción en Santa Elena (65% del total). Las especies con mayor incidencia fueron: ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) (27.5%), delfín común (*Delphinus delphis*) (12.3%), león marino sudamericano (*Otaria flavescens*) (12.3%), bufeo (*Tursiops truncatus*) (10.14%) y delfín manchado (*Stenella attenuata*) (9.42%). De estas cinco especies se hicieron análisis comparativos sobre tallas y madurez física, así como de ocurrencia en el año. Con excepción del bufeo, las otras cuatro especies mostraron abundancias relativas estacionales, unas más marcadas que otras, relacionadas posiblemente con disponibilidad de alimento y/o necesidades reproductivas. En las ballenas jorobadas y delfines comunes las clases de edad más frecuentemente encontradas varadas fueron neonatos y animales jóvenes. En contraste, en los delfines manchados y leones marinos sudamericanos las clases mas frecuentes fueron adultos y subadultos. En 32 casos (23% del total), se estableció que la causa primaria o probable del varamiento estuvo relacionada con actividades antrópicas: interacción pesquera (25 casos) y colisiones con embarcaciones (7 casos). Se compararon frecuencias de ocurrencia con estudios previos que demuestran un incremento en la tasa de varamientos en ballenas jorobadas y una reducción en cachalotes y bufeos. La falta de un esfuerzo sistemático de muestreo impide hacer comparaciones estadísticas conclusivas. Aún así, queda demostrada la importancia de continuar este tipo de registros en el tiempo para conocer la dinámica y el cambio en la comunidad de cetáceos de la costa ecuatoriana.

¹Fundación Ecuatoriana para el Estudio de Mamíferos Marinos (FEMM). Guayaquil, Ecuador. Casilla 09-06-2370, Guayaquil, Ecuador.

²Instituto Nazca de Investigaciones Marinas, Quito, Ecuador.

³Universidad San Francisco de Quito y Galápagos Instituto de Artes y Ciencias (GAIAS), Playa Mann, Puerto Baquerizo Moreno,

ABSTRACT

We report 140 cases of marine mammal strandings belonging to the Orders Cetacea (12 species) and Carnivora (two species), occurred in the period 1996-2009 on the mainland coast of Ecuador. Cetaceans included three species of mysticeti (baleen whales) and nine odontocetes (dolphins and toothed whales). The two species of carnivores belonged to the Suborder Pinnipedia (sea lions). Strandings were recorded in the five coastal provinces with a higher proportion in Santa Elena Province (65% of total). Species with higher incidence included humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) (27.5%), common dolphin (*Delphinus delphis*) (12.3%), South American sea lion (*Otaria flavescens*) (12.3%), bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) (10.14%) and spotted dolphin (*Stenella attenuata*) (9.42%). Comparative analysis on total length, physical maturity and seasonality were conducted on these five species. With exception of the bottlenose dolphin, the other four species showed difference in seasonality, likely associated with food availability and/or reproductive needs. Neonates and young animals were more frequently recorded in humpback whales and common dolphins, but adults and subadults in spotted dolphins and the South American sea lion. In 32 cases (23% of total), the strandings were related to anthropogenic activities: bycatch (25 cases) and collisions with vessels (7 cases). An increase in the stranding proportion of humpback whales and a reduction in sperm whales and bottlenose dolphins were observed with respect to previous studies. The lack of a systematic sampling effort precludes in-deep statistical comparisons. This report demonstrates the importance of recording marine mammal strandings in the long term to establish the dynamics in the cetacean community in Ecuadorian waters.

PALABRAS CLAVES: Varamientos, Ecuador, mamíferos marinos, interacción pesquera, colisiones.

INTRODUCCIÓN

Mamíferos marinos o sus restos ocasionalmente pueden ser encontrados en las playas. Generalmente se trata de animales que han muerto en mar abierto y sus cuerpos arrastrados hasta la orilla por corrientes o la marea, aunque también se da el caso de animales vivos que varan solos o en grupos de hasta varias docenas de individuos. Identificar las causas del varamiento no siempre es posible; en algunas ocasiones las causas son evidentes, como cuando llegan con redes alrededor del cuerpo. Sin embargo, cuando llegan muertos generalmente están en avanzado estado de descomposición, limitando el tipo de análisis que se puede realizar en ellos.

Cetáceos (delfines y ballenas) y otros mamíferos marinos encontrados varados a lo largo de la costa continental y de las islas Galápagos han sido una importante fuente de información, y en algunos casos la única, sobre estos vertebrados marinos que habitan de manera regular o estacional aguas ecuatorianas. Los varamientos han suministrado información sobre la biología y ecología de varias especies, algunas de ellas raras o difíciles de observar en el mar; e incluso sobre especies que no habían sido registradas previamente en el país (e.g. Félix *et al.* 1995; Chiliza *et al.* 1998; Palacios *et al.* 2004). Los registros de mamíferos

marinos varados también han ayudado a revelar algunos problemas que enfrentan estos animales a causa de actividades humanas, particularmente por interacción con redes de pesca (Chiliza, *et al.* 1998; Félix *et al.* 1997; Álava *et al.* 2005).

No existen en Ecuador regulaciones para proceder con la disposición o colecta de mamíferos marinos varados, por ello investigadores locales han optado por utilizar protocolos internacionalmente aceptados (e.g. Geraci y Lounsbury, 1993). Tampoco existen en el país redes de varamientos, programas con personal entrenado ni veterinarios especializados en mamíferos marinos. En la mayoría de los casos, particularmente cuando se trata de ballenas grandes, los animales varados suelen convertirse en una molestia para los pobladores locales por constituir una fuente de contaminación y un potencial problema de zoonosis.

Aunque varamientos de cetáceos han ocurrido todo el tiempo en la costa de Ecuador y de ello hay muestras en museos, universidades y colecciones privadas, solo desde finales de los años 80's se comenzaron a llevar registros de los mismos con fines científicos (véase Chiliza *et al.* 1998). En su trabajo, Chiliza y colaboradores reportaron

94 casos de varamientos de mamíferos marinos en la costa continental de Ecuador ocurridos entre 1987 y 1995, incluyendo 12 especies de cetáceos y un pinnípedo. Tal estudio evaluó la presencia, distribución, frecuencia de varamiento y proporcionó además información sobre tallas y madurez física de varias especies, entre las que destacan el cachalote (*Physeter macrocephalus*) el bufeo (*Tursiops truncatus*), el león marino sudamericano (*Otaria flavescens*), así como otras especies neríticas y de aguas profundas.

En este trabajo se presentan nuevos casos de varamiento de mamíferos marinos en la costa continental ecuatoriana con información obtenida a partir del año 1996. Uno de los objetivos principales de este trabajo es comparar el cambio en la frecuencia y composición de especies, tallas y otros parámetros biológicos, con los evaluados por Chuluiza *et al.* (1998). Los resultados de este nuevo análisis muestran importantes cambios en la frecuencia y estacionalidad de los varamientos para algunas especies, y confirman que la interacción con redes pesqueras sigue siendo la principal causa de su varamiento y mortalidad no natural.

METODOLOGÍA

Fuente de la información

La información aquí presentada fue colectada por investigadores de la Fundación Ecuatoriana para el Estudio de Mamíferos Marinos (FEMM) y del Instituto Nazca de Investigaciones Marinas. En su gran mayoría los investigadores de ambas instituciones colectaron la información personalmente, pero en 8 ocasiones (5.7%) la información fue obtenida de diferentes fuentes, incluyendo periódicos y personas que voluntariamente informaron a FEMM y/o Nazca sobre los eventos. La información externa fue incluida en las bases de datos de ambas instituciones si ésta fue acompañada de fotografías o evidencia física (huesos, especialmente cráneos) que permitieron identificar la especie o al menos confirmar que pertenecían a un mamífero marino.

Con excepción de una zona de aproximadamente 10km a lo largo de Mar Bravo-Punta Carnero (Santa Elena) que se recorrió hasta 4 veces por mes entre 2004 y 2009, los demás varamientos no respondieron a ningún esfuerzo sistemático de búsqueda. Como resultado de ello existe un sesgo

considerable en la proporción de varamientos hacia aquellos que provienen de la península de Santa Elena. Algunos de los registros incluidos en este trabajo fueron utilizados en análisis previos y publicados (e.g. Félix 2002, 2006, 2009; Félix *et al.* 1997; 2007; en imprenta^a; Álava *et al.* 2005), pero se los ha incluido aquí para realizar nuevas comparaciones sobre estacionalidad, frecuencia y distribución, así como para darle continuidad al trabajo previo de varamientos de Chuluiza *et al.* (1998).

Toma de datos y muestras

Para coleccionar la información en el campo se utilizó una forma de registro en la que se incluye información básica del lugar y de las condiciones del evento, material colectado y mediciones corporales. Cuando las condiciones del animal lo permitieron, se tomaron hasta 22 mediciones corporales en línea recta de acuerdo a la metodología de Perrin (1975). En el caso de cetáceos, la longitud total se tomó midiendo en línea recta desde la punta del maxilar hasta la escotadura de la cola y, en el caso de lobos marinos, desde la punta del hocico hasta el extremo de la cola (Geraci y Lounsbury, 1993).

Para la identificación de las especies se utilizaron las guías de Leatherwood *et al.* (1983) y Jefferson *et al.* (2008). La identificación se basó principalmente en el patrón de coloración externo (animales frescos), morfología (forma de la cabeza, posición y longitud de aletas pectorales y dorsales), número y posición de los dientes en las mandíbulas y/o maxilas (odontocetos), número y extensión de pliegues ventrales (mysticetos), entre otros. En algunos casos cuando los individuos se encontraban en avanzado estado de descomposición, la identificación se la hizo a posteriori, una vez que los cráneos o esqueletos enterrados fueron recuperados. En estos casos o cuando se encontraron solo restos óseos de delfines, la identificación de la especie se determinó con estudios morfológicos más específicos (e.g. Perrin, 1975; Van Waerebeek *et al.* 1990; Ridgway y Harrison, 1994).

Examinación de especímenes y determinación de causas de varamiento

En la gran mayoría de los casos, solo se hicieron reconocimientos externos de los animales varados y no autopsias. Básicamente el examen

externo implicó la búsqueda de redes o sus marcas sobre la piel, así como de heridas causadas por artefactos corto punzantes. Este análisis fue dirigido a determinar si la causa de muerte ocurrió por interacción pesquera u otra de origen antrópico.

En los casos que se determinó la causa del varamiento se establecieron dos niveles: causa primaria y causa probable. Se determinó como causa primaria del varamiento la interacción con artes de pesca cuando el animal llegó a la playa enredado en trasmallos, vivo o muerto. Se consideró como causa probable cuando los animales solo presentaban marcas de redes o la cola cortada (o al menos un lóbulo). En algunas ocasiones que se realizaron necropsias se encontraron fracturas de huesos, lo que se atribuyó a colisiones con botes. Se estableció como causa primaria del varamiento una colisión cuando los animales aún frescos mostraron además de las fracturas, heridas y hematomas en una o varias zonas del cuerpo. Se consideró como causa probable de colisión cuando los animales examinados (no frescos) mostraron fracturas de las mandíbulas o en alguna parte de la columna vertebral. Tanto en los casos de varamiento causados por interacción pesquera o por colisiones, la proporción estimada se considera como una tasa de ocurrencia mínima, pues no siempre los animales fueron evaluados a profundidad. Otras posibles causas tanto de origen antrópico como natural no fue posible evaluarlas o pasaron inadvertidas.

Condiciones oceanográficas y climáticas de la costa ecuatoriana

De la mayoría de mamíferos marinos que habitan aguas ecuatorianas se desconoce su abundancia relativa o dinámica poblacional con respecto a variables oceanográficas. Por ello consideramos que es importante tener en mente algunos aspectos oceanográfico/climáticos básicos para contextualizar el análisis que aquí se realiza. En términos generales la costa ecuatoriana se caracteriza por ser una zona de transición entre aguas templadas en el centro-sur y tropicales en el norte, recibiendo la influencia estacional de la fría y nutritiva corriente de Humboldt proveniente del Sur y de aguas tropicales provenientes de

la bahía de Panamá por el Norte. La zona de encuentro de estas dos corrientes se conoce como el Frente Ecuatorial, que se desplaza de norte a sur según la fuerza de los vientos alisios provocados por el anticiclón del Pacífico Sudeste (Cucalón, 1996). Como consecuencia de ello, se presentan dos temporadas marcadas; una caliente y lluviosa de diciembre a abril y una seca y fría de mayo a noviembre. La temperatura superficial del mar a lo largo de la costa de Ecuador varía entre 21°C y 28°C dependiendo de la época del año y latitud (Cucalón, 1996).

RESULTADOS

Especies y frecuencia

Durante el período 1996-2009 se registraron 140 casos de varamiento de 14 especies de mamíferos marinos de los Órdenes Cetacea ($n=12$) y Pinnipedia ($n=2$) (Tabla 1). Así mismo, se registraron ocho cetáceos y un pinnípedo que no fueron identificados a nivel de especie por su avanzado estado de descomposición o porque no se tuvo evidencia conclusiva para lograr una identificación positiva. Entre los cetáceos, la especie más frecuentemente registrada fue la ballena jorobada con 38 casos o 27.1% del total. Le siguieron con una frecuencia media de ocurrencia el delfín común de rostro corto ($n=17$), el bufeo ($n=14$) y el delfín manchado ($n=13$). Las otras nueve especies fueron registradas con una frecuencia más baja entre 0.71 y 5.8%. Una descripción detallada de cada caso se encuentra en el Anexo 1.

Entre los varamientos registrados destaca el caso de una ballena sei (*Balaenoptera borealis*) por ser el primer espécimen encontrado varado de esta especie en la costa ecuatoriana (Figura 1). El registro correspondió a un neonato de 3.43m que varó al norte de San Pablo, provincia de Santa Elena. El animal fue examinado cuando estaba fresco y aún mantenía su coloración natural. La especie fue identificada por la presencia de una sola cresta en la cabeza que se extendía de la base de sus orificios respiratorios hasta la punta del maxilar; el número de pliegues ventrales ($n=62$), la extensión de los pliegues ventrales que terminaron antes de llegar al ombligo, y un pedúnculo caudal elevado (Figura 1).



Figura 1. Neonato de ballena sei registrado en San Pablo en 2004

Distribución

Los varamientos fueron registrados en las cinco provincias costeras del país. Santa Elena fue la provincia con mayor número de registros (n=93, 66% del total), seguido por Manabí (n=19), Guayas (n=13), Esmeraldas (n=12) y El Oro (n=3) (Figura 2). Santa Elena fue también la provincia donde se

registró la mayor variedad de especies con 13 de las 14 reportadas (93%). Dentro de la provincia de Santa Elena, la zona de Mar Bravo y Salinas fue donde mayor número de varamientos se registraron (n=62, 70%). En la provincia del Guayas los varamientos ocurrieron principalmente entre Playas y Data de Posorja (85%).

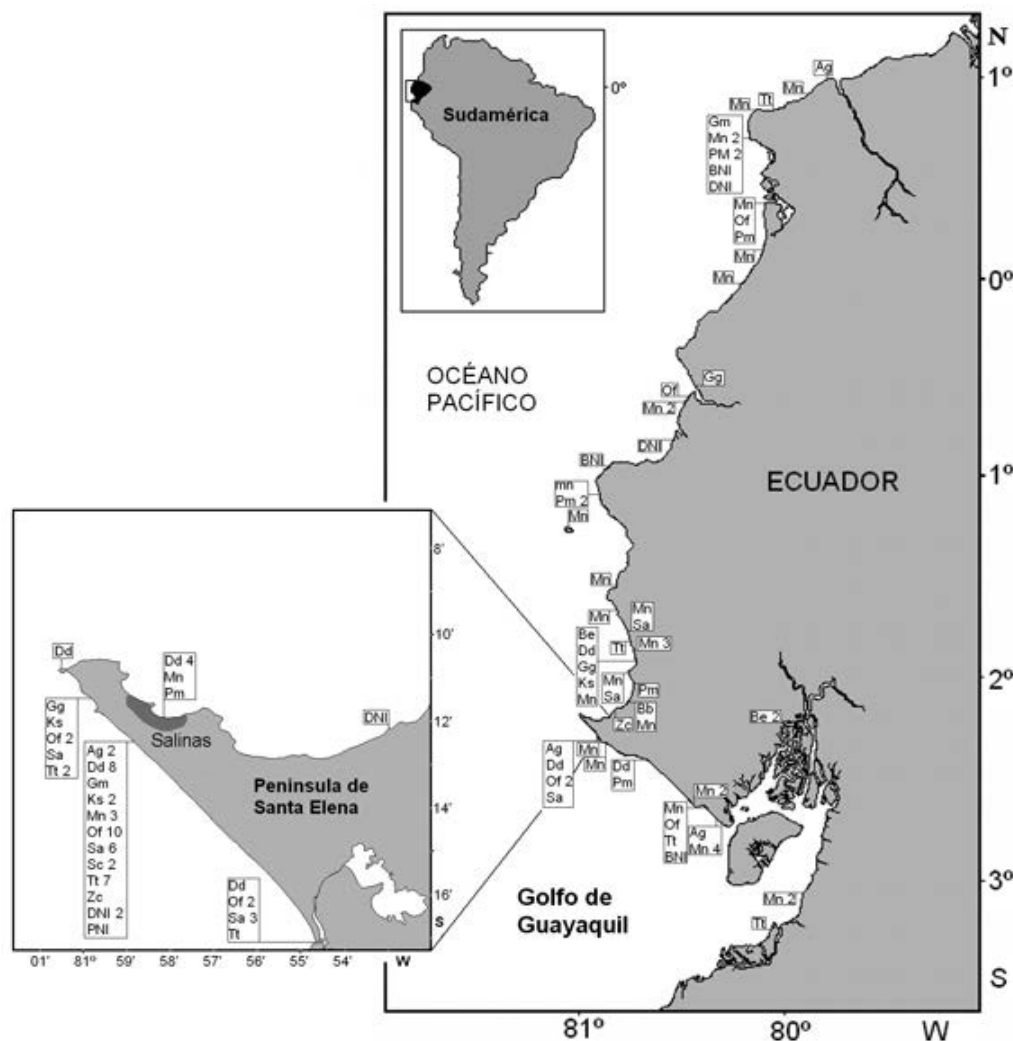


Figura 2. Varamiento de mamíferos marinos en la costa ecuatoriana durante el período 1996-2009. Para mejor visualización los avistamientos fueron agrupados en cuadros donde se incluye las iniciales de las especies y el número de eventos registrados de esa especie en una zona en particular. Las especies se indican con las siguientes iniciales: Ag=Arctocephalus galapagoensis, Bb=Balaenoptera borealis, Be=Balaenoptera edeni, Dd=Delphinus delphis, Gg=Grampus griseus, Gm=Globicephala macrorhynchus, Ks=Kogia sima, Mn=Megaptera novaeangliae, Of=Otaria flavescens, Pm=Physeter macrocephalus, Sa=Stenella attenuata, Sc=Stenella coerulealba, Tt=Tursiops truncatus, Zc=Ziphius cavirostris, DNI=delfín no identificado, BNI=ballena no identificada, PNI=pinnípedo no identificado

La única especie encontrada en las cinco provincias costeras fue la ballena jorobada, seguido por el bufeo que se reportó en cuatro provincias con excepción de Manabí, aunque el 85% de los casos de varamiento de bufeos se registró en Santa Elena. Los cachalotes fueron registrados con similar frecuencia en Santa Elena, Manabí y

Esmeraldas. Llama la atención que delfines con un número significativo de casos como manchados y comunes, solo fueron registrados en la provincia de Santa Elena. Entre los pinnípedos se observa que los leones marinos sudamericanos fueron encontrados principalmente en Santa Elena y pocos registros en Manabí y Guayas, mientras que

el lobo fino de Galápagos fue registrado también con mayor frecuencia en Santa Elena y en menor número en Esmeraldas y Guayas.

Aspectos biológicos (longitud, madurez física y sexo)

Para las cinco especies con mayor número de varamientos se evaluó la longitud total y se dedujo su grado de madurez física (Figura 3).

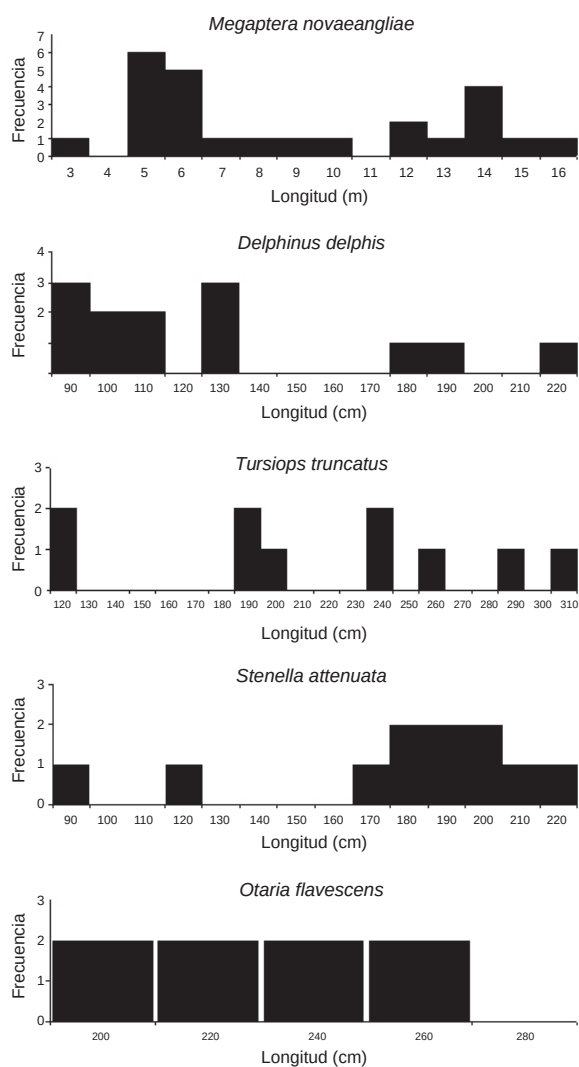


Figura 3. Histogramas de frecuencia de tallas de cinco especies de mamíferos marinos encontrados varados en la costa continental de Ecuador (período 1996-2009).

Ballena jorobada. La distribución de tallas muestra una gráfica bimodal, con un pico a temprana edad y otro en estado adulto. La mayoría de los casos correspondieron a crías de la temporada, animales entre 3.9 y 7m ($n=13$, 52%), seguido por animales adultos ($n=9$) y poco representados por subadultos ($n=3$). De los 14 animales sexados

siete fueron hembras y siete machos. Sin embargo, se observó un sesgo a favor de las hembras en animales adultos mayores de 12m con cinco hembras y dos machos.

Delfín común. La distribución de tallas de esta especie también muestra una gráfica bimodal, con un pico grande a temprana edad y otro más pequeño a edad adulta, en forma similar a las ballenas jorobadas. La mayoría de registros involucró a neonatos y crías con una longitud entre 0.9 y 1.3m ($n=10$, 77%). De los once delfines comunes sexados siete resultaron hembras y cuatro machos.

Bufo. La distribución de tallas de bufeos muestra una distribución más homogénea en todas las clases de edad. Animales hasta 1.2m corresponden a crías con pocos días o semanas de nacidos, los de 1.9 y 2.1m a subadultos y los animales arriba de 2.5m a adultos. De seis animales sexados tres fueron hembras y tres machos.

Delfines manchados. La distribución de tallas muestra una gráfica unimodal muy marcada en tallas que corresponden a subadultos y adultos de 1.7 a 2.2m y solo dos crías (0.92 y 1.2m). De ocho animales sexados cuatro fueron machos y cuatro hembras.

León marino sudamericano. La distribución de tallas muestra un solo pico entre 2.1 y 2.75m que corresponden a subadultos y adultos. Todos los especímenes registrados fueron machos.

Otras especies. De los cuatro especímenes de cachalote enano, tres correspondieron a subadultos y un adulto. Las dos ballenas picudas de Cuvier fueron adultos. Entre los cachalotes hay un macho subadulto y posiblemente una hembra adulta. Los dos delfines listados encontrados fueron subadultos. Los dos lobos finos de Galápagos correspondieron a una cría y un macho subadulto.

Estacionalidad

La estacionalidad de los varamientos también fue evaluada en las cinco especies con mayor tasa de ocurrencia (Figura 4).

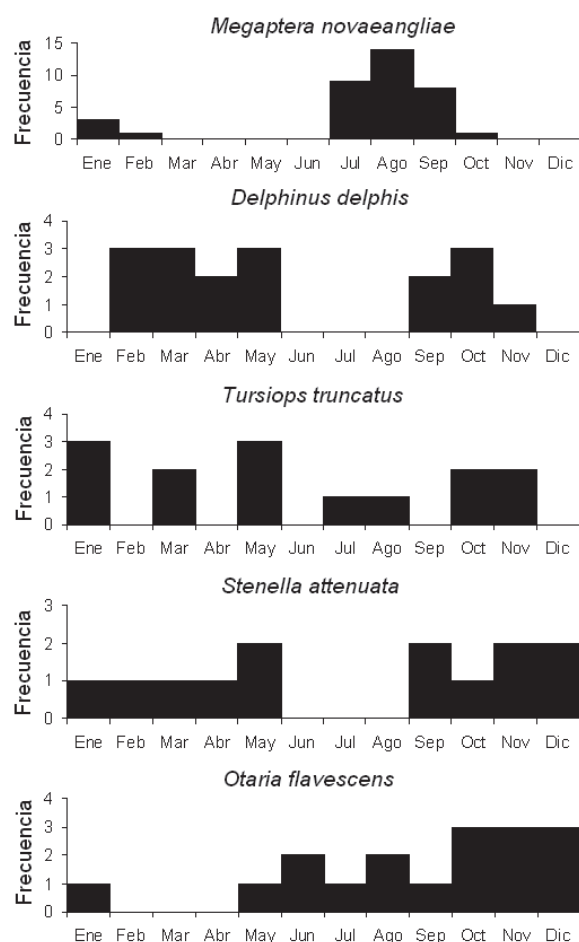


Figura 4. Histogramas de frecuencia de la ocurrencia mensual de varamiento de cinco especies de mamíferos marinos (período 1996-2009).

Ballena jorobada. Los datos de esta especie muestran una estacionalidad muy marcada (julio a octubre) relacionada con su época de reproducción en aguas tropicales, aunque unos pocos casos fueron también registrados entre enero y febrero.

Delfín común. Los varamientos de esta especie muestran dos estaciones bien diferenciadas, febrero-mayo y septiembre-noviembre. El patrón observado sugiere movimientos estacionales de la especie tal vez de tipo longitudinal en la época de transición estacional a mediados de año.

Bufeo. Varamientos de la especie fueron registrados con similar intensidad a lo largo del año, lo que indicaría que la especie es residente.

Delfín manchado. Los registros de delfines manchados muestran una ocurrencia a lo largo del año excepto en el período junio-agosto. A simple

vista, los datos sugieren un tipo de movimiento estacional similar al del delfín común.

León marino sudamericano. Muestran una mayor ocurrencia a partir de junio, con un pico entre octubre y diciembre, menor frecuencia en enero y ausencia de registros entre febrero y abril.

Otras especies. La baja ocurrencia de las demás especies no permite realizar un análisis más detallado de la estacionalidad de los varamientos. La Tabla 2 resume la ocurrencia de las especies que no fueron consideradas arriba. En el caso de los odontocetos se observa que hay un mayor número de especies registradas entre abril y mayo. Los cachalotes, ballenas de barbas (sei y tropical) y el lobo fino de Galápagos se registraron principalmente en la segunda mitad del año. Los cachalotes enanos se registraron a mitad de año y a finales de año.

Causas de los varamientos

En 32 casos (23%) se pudo determinar la causa primaria o probable del varamiento, todas ellas relacionadas con actividades humanas: interacción con redes pesqueras ($n=25$) y colisiones ($n=7$). En once casos (44%) la captura incidental fue considerada la causa directa del varamiento y en las 14 restantes (56%) como causa probable. Colisiones fueron consideradas como causa directa en dos ocasiones (28.6%) y en cinco (71.4%) como causa probable. En dos ocasiones se asignó como posible causa del varamiento la predación por orcas; un delfín común y una ballena jorobada.

Las especies mayormente afectadas por interacciones pesqueras guardan cierta relación con su participación en el total de casos registrados. La ballena jorobada y el delfín común fueron las especies con mayor número de casos de enredamiento, siete y seis casos respectivamente. Le siguieron el cachalote y el bufeo con tres casos cada uno y en menor cantidad la ballena picuda de Cuvier, delfín manchado, cachalote enano y ballena piloto (Figura 5). En el caso de colisiones con embarcaciones, la mayoría de los casos ocurrió con delfines manchados y ballenas tropicales y en menor grado con bufeos y ballenas jorobadas (Figura 6). Las dos colisiones con ballenas tropicales ocurrieron con barcos que arribaron al puerto de Guayaquil, por lo que

las colisiones probablemente ocurrieron en el estuario exterior del golfo de Guayaquil.

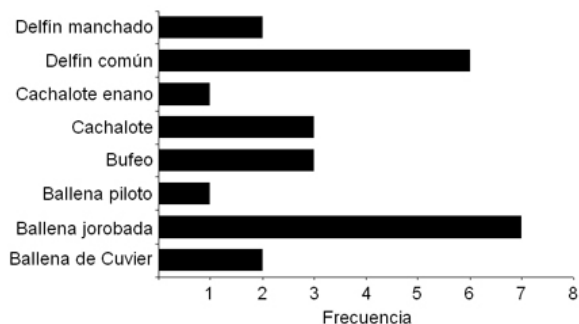


Figura 5. Especies de mamíferos marinos cuyo varamiento se asoció a la interacción con actividades pesqueras.

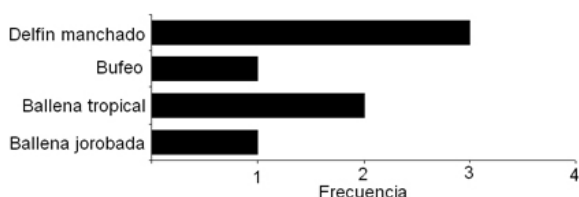


Figura 6. Especies de mamíferos marinos cuyo varamiento se asoció a colisiones con embarcaciones.

DISCUSIÓN

La nueva información sobre varamientos presentada demuestra que hay una importante diversidad de mamíferos marinos habitando de manera permanente o estacional aguas costeras continentales. Los resultados, sin embargo, muestran diferencias notables en cuanto a especies y frecuencia de varamiento en las diferentes provincias como resultado de un esfuerzo de muestreo heterogéneo, lo que ha limitado el uso de pruebas estadísticas concluyentes para comparación. No obstante de ello, la información evaluada refleja ciertos patrones sobre estacionalidad, longitud y clases de edades más propensas a vararse que deben ser analizados a mayor profundidad con estudios poblacionales dirigidos. Es preocupante, sin embargo, que casi una cuarta parte de los casos están relacionados con actividades pesqueras y navieras que representan un creciente riesgo para estas especies (Félix y Samaniego, 1994, Félix et al. 1997, 2006, en imprenta^a; Álava et al. 2005; Félix y Van Waerebeek, 2005, Félix, 2007, 2009).

Composición y frecuencia

En el período 1996-2009 no se observan cambios importantes en la composición de especies con respecto al período 1987-1995 reportado por

Chiluiza et al. (1998), aunque sí en su proporción. De las doce especies de mamíferos marinos reportadas por Chiluiza y colaboradores, diez fueron también reportadas en esta nueva compilación. Una primera inferencia que se puede hacer de tal comparación es que al menos estas diez especies ocurren de manera regular costa afuera de Ecuador. Ambos estudios coinciden que especies costeras como el bufeo y la ballena jorobada, y especies neríticas como los delfines manchados y comunes, son más frecuentes de encontrar varadas que especies oceánicas. Sin embargo, la especie más costera, el bufeo, disminuyó su representatividad de 32 a 10.1% en la muestra del período 1996-2009. Por el contrario, se observó un incremento de ballenas jorobadas de 4.3 a 27.5% y de delfines comunes de 3.2% a 12.3% en el segundo período. Otras especies de ocurrencia moderada como el delfín manchado y el león marino sudamericano mantuvieron similares niveles en ambos períodos.

Otra especie que disminuyó notablemente su frecuencia de varamiento fue el cachalote, de 27% en el período 1987-1995 a 5.8% entre 1996 y 2009. Por tratarse de un animal grande -los machos pueden llegar a medir 18m y pesar 25 toneladas (Jefferson et al. 2008)-, no es posible que su baja ocurrencia en el período 1996-2009 se deba a una menor eficiencia de registro, pues en otras ballenas grandes como la ballena jorobada su número aumentó considerablemente y en el de las ballenas tropicales se mantuvo estable (alrededor de 2.2%). La explicación más plausible para esta disminución sería una reducción poblacional o emigración de aguas ecuatorianas. Tal disminución podría estar relacionada tanto con actividades pesqueras cuanto con factores ecológicos. Estudios de cachalotes en las islas Galápagos desde mediados de los 80's y frente a la costa de Ecuador a mediados de los 90's, demuestran que la población de cachalotes ha estado disminuyendo de manera sostenida a una tasa de 20% anual (Whitehead et al. 1997). La abrupta disminución de varamientos en la costa continental coincide también con la presencia del fenómeno El Niño 1997-1998. Es posible que el cambio brusco de temperatura, con la consecuente disminución de la productividad primaria y secundaria, durante este extremadamente fuerte fenómeno El Niño haya causado la emigración de cachalotes hacia aguas más frías y productivas. Como un

ejemplo de ello tenemos que varios cachalotes identificados por fotografías en Galápagos entre 1987 y 1994 fueron registrados entre 1998 y 1999 en el golfo de California en México (Jaquet *et al.* 2003). De manera similar, los cachalotes pudieron emigrar hacia el sur (Perú y Chile), aunque Clarke *et al.* (2002) indicaron que los cachalotes también disminuyeron costa afuera de Perú en las dos últimas décadas debido al incremento en los volúmenes de extracción de la "pota" o calamar gigante de Humboldt (*Dosidicus gigas*), prácticamente el único alimento de los cachalotes en esta parte del mundo (Clarke *et al.* 1988). Para los animales que hubiesen emigrado hacia el sur del continente, es posible que la disminución de la disponibilidad de alimento en aguas peruanas sea una especie de barrera que impide su regreso hacia aguas ecuatorianas y más al norte.

El caso de las ballenas jorobadas es opuesto al de los cachalotes. El incremento de varamientos de la especie estaría relacionado tanto con el incremento de actividades pesqueras cuanto a la rápida recuperación que está experimentando la población de ballenas jorobadas del Pacífico Sudeste. Se estima que a mediados de los años 60's, quedaban unos pocos cientos de animales en los stocks de ballenas jorobadas del hemisferio sur (Chapman, 1974). Estimaciones poblacionales a mediados de los años 90's indicaban que la especie tenía entonces entre 2,000 y 4,000 animales (Félix y Haase, 2001; Branch, 2006). La más reciente estimación indica que la población estaría actualmente en 6,504 animales (95% CI: 4,270-9,907; CV = 0.21) (Félix *et al.* en imprenta^b). En los registros de esta especie llama la atención los cuatro casos ocurridos entre enero y febrero, fuera de la temporada regular de ocurrencia en aguas tropicales (junio a octubre) (Félix y Haase, 2001). Sin embargo, un análisis más detenido de estos datos indica que solo en un caso se encontró un animal completo recién muerto, una cría grande de 6.8m de longitud. Este caso es notable porque se trata de una cría que por alguna razón no migró hacia Antártica al final de la temporada de reproducción. Los otros casos corresponden a restos de animales varados probablemente durante la época de reproducción anterior o en años previos.

Si bien en los cachalotes y ballenas jorobadas la frecuencia de varamiento guarda concordancia

con la evidencia científica disponible sobre las tendencias de estas poblaciones, en el caso de otras especies de cetáceos afectadas por interacciones pesqueras como delfines comunes y delfines manchados la situación es diferente porque se carece de esa información (Félix y Samaniego, 1994; Félix *et al.* 2006). En gran medida esto se debe a las dificultades inherentes de investigar especies pelágicas de alta movilidad como los cetáceos menores. Sin embargo, en el caso de los delfines comunes los registros de varamientos guardan concordancia con los resultados de estudios sobre interacción pesquera hechos en Ecuador en los 90's, especialmente en relación con las clases de edad afectadas. En su estudio sobre interacción pesquera Félix y Samaniego (1994) establecieron que la clase más afectada por la pesquería pelágica artesanal de trasmallo correspondía a animales jóvenes de 90 a 130cm de longitud total, con pocos adultos, produciendo una distribución de tallas muy similar a la obtenida en este estudio (véase Figura 3). Es interesante también notar que en el estudio de Félix y Samaniego se registró una mayor cantidad de interacciones con delfines comunes en meses de ausencia o de baja frecuencia de varamientos. La información cruzada de ambas fuentes, interacciones y varamientos, sugieren que los delfines comunes relajarían movimientos costa afuera en la época fría, pues los datos de captura incidental sugieren que la abundancia de delfines costa afuera es mayor entre mayo y septiembre, mientras que los registros de varamientos sugieren que son más abundantes cerca de la costa de septiembre a mayo.

Otro caso en que se detectó una correlación entre varamiento y abundancia relativa fue con los leones marinos sudamericanos. Entre enero y mayo se observa una disminución drástica con una ausencia total entre febrero y abril. La frecuencia de varamientos coincide con los cambios observados a lo largo del año en el número de individuos presentes en una colonia permanente de esta especie en Punta Brava, Salinas, que el primer autor ha venido realizando seguimiento a través de los años. El número de animales en esta colonia varía de cero o unos pocos animales a principios de año hasta más de cuarenta en octubre (Félix, 2002). La disminución de animales en la colonia de Salinas y la tendencia de varamientos observada a través de los años

guarda relación con la época de reproducción de esta especie, que en las costas peruanas ocurre entre enero y febrero (Majluf y Reyes, 1989), pero también con la época de mayor temperatura superficial del agua y menor productividad. Las tallas registradas de los leones marinos sugiere que se trataría tanto de subadultos como de animales adultos en edad reproductiva (véase Jefferson *et al.* 2008).

Causas de los varamientos

Nuestros registros confirman que la interacción con redes pesqueras es la principal causa identificada de varamiento de cetáceos en la costa de Ecuador. Especies de delfines neríticas y oceánicas, así como la ballena jorobada, son víctimas en su mayoría de redes agalleras artesanales pelágicas, confirmando los resultados de estudios previos (véase Félix y Samaniego, 1994; Félix *et al.* 1997, 2007, en imprenta^a, Álava *et al.* 2005). Con alto grado de certeza se puede decir que el impacto sobre las poblaciones de cetáceos continúa con similares características a lo largo de los últimos tres lustros, o incluso se ha incrementado en el caso de las ballenas jorobadas.

Las colisiones con barcos que antes no figuraron como causa de varamiento, ahora constituyen la segunda causa identificada. En sus recientes revisiones de colisiones de barcos con cetáceos en Ecuador, Félix (2006, 2009) alerta de este emergente problema de conservación en el país y la región, pues el incremento del tráfico marítimo y de la velocidad de los buques de carga y de transporte de pasajeros es causa cada vez más frecuente de heridas y de mortalidad de cetáceos en el mundo entero (Reeves, *et al.* 2003; Jensen, and Silber, 2004; IWC, 2005, Van Waerebeek *et al.* 2007). Es difícil establecer una colisión como causa de muerte en animales descompuestos porque las fracturas del cráneo y columna vertebral encontradas en algunos especímenes pudieron ocurrir después de la muerte del animal. Se recomienda precaución al tratar de relacionar la muerte de un cetáceo con una colisión y, en la medida de lo posible, realizar exámenes minuciosos del esqueleto.

La mayoría de los casos de varamiento registrados probablemente se debieron a causas naturales como prelación, enfermedades, separación de

crías de sus madres debido a inexperiencia de éstas o la imposibilidad de seguir a la manada. No se descarta que en algunos casos las madres murieron y las crías huérfanas vararon.

Otras consideraciones

Dada la alta capacidad de movimiento de los mamíferos marinos, se considera que éstos son buenos indicadores de cambios en las condiciones ambientales de los ecosistemas donde habitan. Uno de los aspectos que ha sido considerado recientemente es el potencial uso de los datos de varamiento para evaluar los impactos del cambio climático sobre la comunidad local de cetáceos. Así, McLeod *et al.* (2005) reportaron una disminución en las frecuencias relativas de varamientos de del delfín de pico blanco (*Lagenorhynchus albirostris*), una especie de aguas más frías, y un incremento de varamientos del delfín común, una especie de aguas más calientes, en la costa noroeste de Escocia. Resultados de modelación con especies tropicales de aguas profundas sugieren que el cambio climático también podría reducir la diversidad de especies de cetáceos en aguas tropicales que emigrarían hacia aguas más templadas y productivas (Whitehead *et al.* 2008). Cambios de tal naturaleza en la composición de las especies de cetáceos bien podrían ser detectados con programas de varamiento que hagan un seguimiento continuo.

La importancia de los registros de varamientos ha quedado demostrada en este estudio y debe servir como motivación para la creación de programas de varamiento en universidades e institutos de investigación marina. Con el tiempo esto puede conducir a crear redes en las que participen equipos multidisciplinarios con biólogos, veterinarios, patólogos, etc., que permitan identificar con mayor efectividad las causas que motivaron los varamientos. Esto será especialmente útil para establecer causas naturales o inducidas por actividades humanas que no son tan evidentes, como el caso de contaminación por pesticidas, metales pesados, ruido, entre otras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores dejan constancia de su agradecimiento a muchos voluntarios que colaboraron con nosotros durante la examinación de los

especímenes, reportaron los eventos o enviaron fotografías o material osteológico. Entre estas personas están: Raúl Carvajal, María José Barragán, Marcelo Luque, José Miguel Flores, Milton Malawe, Peggy Loo, Gladys Torres, Brenda Haase, Douglas Dillon, Douglas Vera, Víctor Molina, Santiago Torres, Nicole Schwarz, Ronald Navarrete, María Herminia Cornejo, Natalia Botero, Jorge Intriago, Felipe Campos, Raúl Gudiño y Soledad Luna.

REFERENCIAS

- Álava, J. J., Barragán, M., Castro, C. y Carvajal, R. 2005. A note on strandings and entanglements of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Ecuador. *J. Cetacean Res. Manage.* 7(2):163-168.
- Branch, T. 2006. Humpback abundance south of 60°S from three completed sets of IDCR/SOWER circumpolar surveys. Paper SC/A06/HW6 presented to the IWC Workshop on Comprehensive Assessment of Southern Hemisphere Humpback Whales. Hobart, Tasmania 3-7 April 2006.
- Chiluiza, D., Aguirre, W., Félix, F. y Haase, B. 1998. Varamientos de mamíferos marinos en la costa continental ecuatoriana, período 1987-1995. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador*, 9(1): 209-217.
- Clarke, R., Paliza, O. y Aguayo, A. 1988. Sperm whales of the Southeast Pacific. Part IV. Fatness, food and feeding. *Investigations on Cetacea*, 21: 53-195.
- Clarke, R., Félix, F., Paliza, O. y Brtnik, P. 2002. Why sperm whales have disappeared from Ecuadorean and northern Peruvian seas? Paper SC/54/E13 presented to the International Whaling Commission Scientific Committee in the 54th Annual Meeting, Shimonoseki, Japón, Mayo 2002. 10p.
- Chapman, D. G. 1974. Status of the Antarctic humpback stocks. p. 218-238. In: W. E. Schevill (Ed.). *The Whale Problem, a Status Report*. Harvard University Press. Cambridge, Mass., U.S.A. 419p.
- Cucalón, E. 1996. Primera Parte: Oceanografía y Sistemas Físicos. Pp 1-109. En: *Sistemas Biofísicos en el golfo de Guayaquil*. Comisión Asesora Ambiental CAMM. Ecuador. 223p.
- Félix, F. 2002. Una colonia de lobos marinos sudamericanos (*Otaria flavescens*) en Salinas, Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador*, 11(1):181-184.
- Félix, F. 2006. Colisión de un barco porta contenedores con una ballena de Bryde (*Balaenoptera edeni*) en el golfo de Guayaquil, Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador*.
- Félix, F. 2009. A new case of ship strike with a Bryde's whale in Ecuador. 2009. Paper SC/61/BC5 presented to the 61 Scientific Committee of the International Whaling Commission. Madeira, Portugal, June 2009. 5p.
- Félix, F. y Samaniego, J. 1994. Incidental catches of small cetaceans in the artisanal fisheries of Ecuador. *Rep. Int. Whal. Commn. (Special Issue 15)*. Pp 475-480.
- Félix, F., Haase, B., Davis, J. W., Chiluiza, D. y Amador, P. 1997. A note on recent strandings and bycatches of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) and humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Ecuador. *Rep. Int. Whal. Commn. Vol. 47*:917-919.
- Félix, F. y B. Haase, B. 2001. The humpback whale off the coast of Ecuador, population parameters and behavior. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 36(1):61-74.
- Félix, F. y Van Waerebeek, K. 2005. Whale mortality from ship strikes in Ecuador and West Africa. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 4(1):55-60.
- Félix, F., Haase, B. y Samaniego, J. 1995. Primeros registros de la orca pigmea *Feresa attenuata* (Cetacea, Delphinidae) y del cachalote enano *Kogia simus* (Cetacea, Physeteridae) en Ecuador continental. *Estudios Oceanológicos*, Vol 14. Pp. 77-85.
- Félix, F., Samaniego, J. y Haase, B. 2007. Interacciones de cetáceos con la pesquería artesanal pelágica en Ecuador. P. 50-54. En: *Memorias del Taller de Trabajo sobre el Impacto de las Actividades Antropogénicas en Mamíferos Marinos en el Pacífico Sudeste*, Bogotá, Colombia, 28 al 29 de noviembre de 2006. F. Félix (Ed). CPPS/PNUMA. Guayaquil, Ecuador. 98p.
- Félix, F., Muñoz, M., Falconí, J., Botero, N. y Haase, B. (en imprenta^a). Entanglement of humpback whales in artisanal fishing gear in Ecuador. *Journal of Cetacean Research and Management, Special Issue*.

Félix, F., Castro, C., Laake, J., Haase, B. y Scheidat, M. (en imprenta^b). Abundance and survival estimates of the Southeastern Pacific humpback whale stock from 1991-2006 photo-identification surveys in Ecuador. *Journal of Cetacean Research and Management, Special Issue*.

Geraci, J. R. y Lounsbury, V. L. 1993. *Marine Mammals Ashore, a Field Guide for Strandings*. Texas A&M University Sea Grant College Program. USA. 305p.

International Whaling Commission (IWC). 2005. *Report of the Conservation Committee. IWC/57/Rep 5*. 13pp.

Jaquet, N., Gendron, D. y Coakes, A. 2003. *Sperm whales in the Gulf of California: residency, movements, behaviour, and the possible influence of variation in food supply*. *Marine Mammal Science* 19(3):545-562.

Jefferson, T.A., Webber, M.A. y Pitman, R.L. 2008. *Marine Mammals of the World*. Academic Press – Elsevier. USA. 573 p.

Jensen, A. S. and Silber, G. K. 2004. *Large whale ship strike database*. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR. January 2004. 37p.

Leatherwood, S., Reeves, R. R., Foster, L. 1983. *The Sierra Club Handbook of Whales and Dolphins*. Sierra Club Books, USA. 302p.

McLeod, C.D., Bañón, S. M., Pierce, G. J., Schweder, C., Learmonth, J. A., Herman, J. S. y Reid, R. J. 2005. *Climate change and the cetacean community of north-west Scotland*. *Biological Conservation*, 124:477-483.

Majluf, P. y Reyes, C. 1989. *The marine mammals of Perú: a review*. In: *The Peruvian Upwelling Ecosystem: Dynamics and Interaction*. Ed. by D. Pauly, P. Muck, J. Mendo and I. Tsukayama. ICLARM Conference proceedings 18, 344-363.

Palacios, D. M., Salazar, S. K. y Day, D. 2004. *Cetacean remains and strandings in the Galápagos Islands, 1923-2003*. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 3(2):127-150.

Perrin, W. 1975. *Variation of spotted and spinner porpoise (Genus Stenella) in the Eastern Pacific and Hawaii*. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography Vol 21*. University of California Press. La Jolla, California. 206p.

Reeves, R. R., Smith, B. D., Crespo E. y Notarbartolo di Sciara G. (compilers). 2003. *Dolphins, Whales and Porpoises: 2002-2010 Conservation Action Plan for the World's Cetaceans*. UCN/SSC. Cetacean Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 139p.

Ridgway, S. H. y Harrison, R. (Ed). 1994. *Handbook of Marine Mammals, Volume 5: the First Book of Dolphins*. Academic Press, USA. 416p.

Van Waerebeek, K., Reyes, J. C., Read, A. J. y McKinnon, J. S. 1990. *Preliminary observations of bottlenose dolphins from the Pacific coast of South America*. Pp 143-154. En *The Bottlenose Dolphin*. S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds). Academic Press, USA. 653p.

Van Waerebeek, K., Baker, A.N., Félix, F., Gedamke, J., Iñiguez, M., Sanino, G.P, Secchi, E., Sutaria, D., van Helden, A. y Wang, Y. 2007. *Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, and initial assessment*. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 6(1):43-69.

Whitehead, H., Christal, J. y Dufault, S. 1997. *Past and distant whaling and the rapid decline of sperm whales off the Galápagos Islands*. *Cons. Biol.*, Vol 11(6): 1387-1396.

Whitehead, H., McGill, B. y Worm, B. 2008. *Diversity of deep-water cetaceans in relation to temperature: implications for ocean warming*. *Ecology Letters*, 11:1198-1207.

INVENTARIO, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE MAMÍFEROS MARINOS Y AVES EN LAS ISLAS GALÁPAGOS DURANTE EL CRUCERO OCEANOGRÁFICO (BAE ORIÓN) EN ABRIL 2009: IMPLICACIONES PARA CONSERVACION

Pedro J. Jiménez¹
Santiago Torres¹
Juan José Alava^{1,2}
Jorge Samaniego^{1,3}

RESUMEN

Durante el crucero oceanográfico realizado del 02 al 23 de abril del 2009 a bordo del BAE Orión, se realizaron observaciones de campo para conocer las especies, abundancia y distribución espacial de mamíferos marinos y aves marinas de la costa ecuatoriana e Islas Galápagos. Se realizó un total de 90 avistamientos y 11 especies confirmadas de mamíferos marinos. Entre las especies de cetáceos observadas con su tamaño promedio grupal fueron: ballena azul (*Balaenoptera musculus*), la ballena piloto (*Globicephala macrorhynchus*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*), el delfín de Fraser (*Lagenodelphis hosei*), el delfín común (*Delphinus delphis*), delfín listado (*Stenella coeruleoalba*), el delfín manchado pantropical (*Stenella attenuata*) y el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*). Además fueron observados las dos especies de lobos marinos reportadas para Galápagos, el lobo marino de Galápagos (*Zalophus wollebaeki*) y el lobo peletero de Galápagos (*Arctocephalus galapagoensis*). También se realizaron 460 registros correspondientes a 1,490 individuos que representan 16 especies de aves marinas, incluyendo dos especies en peligro crítico (CR) de acuerdo a las categorías de amenaza de la UICN: el albatros de Galápagos (*Phoebastria irrorata*), y el petrel de Galápagos (*Pterodroma phaeopygia*). Se anotó la ubicación de los individuos para identificar patrones de distribución espacial. La especie más abundante fue el Piquero de Nazca (*Sula granti*) con 797 individuos registrados. Las aves de mayor abundancia relativa (número de individuos) a lo largo del recorrido del crucero fueron: albatros de Galápagos, *P. irrorata* (15); petrel de Galápagos, *P. phaeopygia* (24); pardela de Galápagos, *Puffinus subalaris* (123); petrel pintado, *Daption capense* (1); petrel de Parkinson, *Procellaria parkinsoni* (5); pardela patirosada, *Puffinus creatopus* (1); paíño danzarín, *Oceanodroma tethys tethys* (144); gaviota de cola bifurcada, *Larus furcatus* (119); piquero de patas azules, *Sula nebulosus excisa* (46); piquero de Nazca, *Sula granti* (797); piquero de patas rojas, *Sula sula websteri* (200); fragata magnífica, *Fregata magnificens magnificens* (11); pájaro tropical, *Phaethon aethereus* (11); y, pelícano pardo, *Pelecanus occidentalis urinator* (1). El piquero de Nazca fue la especie más abundante, representando 51% del total de las especies observadas. La mayoría de los avistamientos de mamíferos y aves marinas, fueron abundantes y agrupados en sitios al suroeste de las Galápagos (0°–2°S; 94–91°W), donde generalmente se encuentran zonas de afloramiento de aguas ricas en nutrientes. Sin embargo, durante el crucero, las áreas con mayores valores de productividad primaria (0.46–0.50 mg/m³), se detectaron al sureste de las Galápagos alrededor de los 2–3°S and 88°W, donde también se observó la mayor abundancia de aves.

Estas observaciones destacan el uso potencial de estos vertebrados marinos homotermos, como eco-indicadores de productividad primaria. Varias especies de mamíferos y aves marinas, incluyendo especies amenazadas, fueron registradas en zonas de alimentación fuera de los límites de la Reserva Marina de Galápagos (RMG), lo que implica el riesgo de pesca incidental debido a palangres, trasmallos y otros impactos antropogénicos en esas zonas desprotegidas.

Palabras Claves: Mamíferos marinos, aves marinas, abundancia, distribución, afloramientos, Galápagos

¹Fundación Ecuatoriana para el Estudio de Mamíferos Marinos (FEMM), PO Box 09-01-11905, Guayaquil -Ecuador

²School of Resource and Environmental Management (Environmental Toxicology Research Group), Faculty of Environment, Simon Fraser University, 8888 University Drive, Burnaby, British Columbia V5A 1S6, Canada

³Aves & Conservación, BirdLife en Ecuador, Psje. Joaquín Tinajero E305 y Jorge Drom, Quito – Ecuador.

ABSTRACT

Field surveys to determine the species, relative abundance and spatial distribution of marine mammals and sea birds were conducted during the oceanographic cruise onboard the BAE Orion around the Galapagos Islands and the Ecuadorian coast on April 02–23, 2009. A total of 90 sightings of marine mammals, including eleven species identified, were performed. Among the cetaceans, the following species and mean group size (mean $\pm$ SD, n) were recorded: Blue Whale, *Balaenoptera musculus* (1, n=1); Pilot Whale, *Globicephala macrorhynchus* (from 24 ± 22.6 to 29 ± 29.7 , n=2); Sperm Whale, *Physeter macrocephalus* (4 ± 4.24 , n=2); Fraser's Dolphin, *Lagenodelphis hosei* (≈ 300 , n=1); Stripped Dolphin, *Stenella coeruleoalba* (60, n=1); Pantropical Spotted Dolphin, *Stenella attenuata* (from 175 ± 35.4 to 200 ± 70.7 , n=2); Short-beaked Common dolphin, *Delphinus delphis* (119 ± 65 , n=5); and, Bottlenose Dolphin, *Tursiops truncatus* (102 ± 172 , n=7). The two endemic species Galapagos pinnipeds, the Galapagos sea lion (*Zalophus wollebaeki*), and the Galapagos fur seal (*Arctocephalus galapagoensis*), were also reported. Furthermore, sixteen species of sea birds from 460 sightings (1,490 birds) were identified, including two species critically endangered (CR) under the IUCN–threatened categories: the Galapagos albatross (*Phoebastria irrorata*), and the Galapagos Petrel (*Pterodroma phaeopygia*). The major sea bird species and relative abundance (number of birds) throughout the cruise track were, Galapagos/Waved albatross, *P. irrorata* (15); Galapagos Petrel, *P. phaeopygia* (24); Galapagos Shearwater, *Puffinus subalaris* (123); Cape Petrel, *Daption capense* (1); Parkinson's Petrel, *Procellaria parkinsoni* (5); Pink-footed Shearwater, *Puffinus creatopus* (1); Wedge-rumped Storm Petrel, *Oceanodroma tethys tethys* (144); Swallow-tailed Gull, *Larus furcatus* (119); Blue-footed Booby, *Sula nebouxii excisa* (46); The Nazca bobby, *Sula granti* (797); Red-footed Booby, *Sula sula websteri* (200); Magnificent Frigatebird, *Fregata magnificens magnificens* (11); Red-billed Tropic Bird, *Phaethon aethereus* (11); and, Brown Pelican, *Pelecanus occidentalis urinator* (1). The Nazca bobby was the most abundant species accounting for 51% of the total abundance of sea bird species. Most of the sightings of sea birds and marine mammal species were abundant and aggregated in places southwestern Galapagos (0° – 2° S; 94° – 91° W), where generally nutrient-enriched, upwelling areas are found. However, during the cruise the areas showing the highest values of primary productivity (0.46 – 0.50 mg/m³) were detected southeast of the Galapagos around 2° – 3° S and 88° W, where a high abundance of sea birds was also observed. These observations underline the potential use of these warm-blooded, marine vertebrates as eco-markers of primary productivity. Several sea birds and marine mammals, including threatened species, were recorded in foraging areas off the Galapagos Marine Reserve (GMR) boundaries, implying the risk of bycatch due to long-line fisheries, gillnets and other anthropogenic impacts in these unprotected areas.

Key Words: Marine mammals, sea birds, abundance, distribution, upwellings, Galapagos Islands

INTRODUCCIÓN

La presencia de diversos hábitats marinos y la influencia de una serie de corrientes marinas superficiales y submarinas ricas en nutrientes hacen de las Galápagos una bioregión propicia para acoger y brindar recursos alimenticios a diversas especies de vertebrados marino epipelágicos tales como los mamíferos marinos y aves marinas (Bustamante et al., 2002; Danulat y Edgar 2002, Palacios 2003). Los cetáceos y las aves marinas comparten algunos aspectos bioecológicos que influyen la naturaleza de sus relaciones con las características oceanográficas y masas de aguas, debido a que estos organismos son depredadores que se alimentan en diferentes niveles tróficos, pero la mayoría son depredadores apex al tope de las redes marinas alimenticias (Ballance et al., 2006). Los cetáceos y aves marinas

son catalogados como especies estrategas “K”, lo que significa que viven largos periodos de tiempo, tiene reproducción sexual tardía y baja producción de crías. Estos aspectos de historia de vida son importantes a considerar sobre todo en la reproducción, distribución y sobrevivencia de estas especies, principalmente cuando se suscitan drásticas variaciones oceanográficas a grandes escalas interanuales, tales como los eventos El Niño Oscilación Sur (ENOS), lo cual resulta en una depresión en profundidad de la termoclina y bajas tasas de flujo de macronutrientes, resultando en la reducción de la producción primaria (Ballance et al., 2006; Pennington et al., 2006).

En la Reserva Marina de Galápagos (RMG) se ha registrado hasta la fecha 26 especies de cetáceos (Merlen 1995; Palacios y Salazar 2002), dos especies endémicas de pinnípedos (Salazar 2002; Alava y Salazar 2006) y cerca de 88 especies de

aves marinas y costeras (Jiménez-Uzcategui y Wiedenfeld 2002). Ocasionalmente otras especies de pinnípedos (Otaridos) no nativos de esta región insular han sido también reportados (Alava y Salazar 2006). Entre las especies de cetáceos, la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) está en peligro de extinción (EN), mientras que la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*) y se encuentran en estado vulnerable (VU). Similarmente, cuatro especie de cetáceos se encuentran dentro de la categoría casi amenazadas (NT): ballena Minke (*Balaenoptera acutorostrata*), el delfín común de hocico corto (*Delphinus delphis*), el calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*) y el delfín manchado pantropical (*Stenella attenuata*). En la RMG, los delfines *S. attenuata*, *D. delphis*, nariz de botella *Tursiops truncatus* y la ballena de Bryde *Balaenoptera edeni* son las especies de cetáceos mas comunes (Merlen 1995; Palacios y Salazar 2002).

Diversos estudios y observaciones de campo han sido levados cabo en las Galápagos, incluyendo las aguas exteriores a la RMG (Wade y Gerrodette 1993; Alava, 2002; Palacios y Salazar 2002). Solo durante el periodo 1973–2000 se realizaron 2799 avistamientos de cetáceos (Palacios y Salazar, 2002). Generalmente las zonas de mayor abundancia de cetáceos son aquellas localizadas al oeste y suroeste de las Galápagos (Merlen 1995; Alava 2002; Palacios 2003). El rol trófico y contribución de los cetáceos en la producción y flujo de carbono en los ecosistemas marinos de la RMG ha sido documentado (Alava, 2009). Por ejemplo, la producción terciaria por cetáceos alcanza los máximos valores de entre 13,7 y 35,4 g C m²/año para los rorcuales representados la ballenas de Bryde (*Balaenoptera edeni*) y azul (*B. musculus*) en zonas de afloramientos localizadas al oeste y suroeste de las Islas Galápagos, mientras que el cachalote es una de los principales contribuidores en le flujo vertical de carbono (Alava, 2009). Sin embargo, muy poco se conoce sobre la función trófica e importancia en la producción de carbono por las aves marinas en la RMG.

Dentro de las aves marinas, cinco especies endémicas merecen especial atención ya que están enlistadas como amenazadas en el “Libro Rojo de las Aves Ecuatorianas”

MATERIALES Y MÉTODOS

(Granizo *et al.* 2002). Las especies de mayor preocupación son: el albatros de Galápagos (*Phoebastria irrorata*) y el petrel de Galápagos o pata pegada (*Pterodroma phaeopygia*) debido a que se encuentra en peligro critico (CR) (Wiedenfeld y Jiménez-Uzcategui 2008). De manera similar, el pingüino de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*), y el cormorán no volador (*Phalacrocorax harrisi*) se encuentran en peligro (EN), mientras que la gaviota de lava (*Larus fuliginosus*) consta bajo las categoría de vulnerable (VU) (Jiménez-Uzcategui y Wiedenfeld 2002; Wiedenfeld y Jiménez-Uzcategui 2008).

Debido a que los cetáceos y las aves marinas son indicadores ecológicos y centinelas ambientales de las condiciones oceanográficos y de la salud del océano su continuo estudio es importante. Bajo el mismo criterio, el monitoreo de campo de especies amenazadas de cetáceos y aves marinas es de vital importancia y critico para conocer el status y proveer nueva información para los fines de la protección, conservación *in situ* y manejo ambiental de estas especies.

En este estudio se contribuye con nueva información de campo relacionada a los registros, abundancia y distribución espacial de mamíferos marinos y aves marinas efectuado durante el crucero Oceanográfico BAE/Orión alrededor de las Galápagos realizado en abril de 2009.

Durante el crucero oceanográfico insular (CO-I-2009) a bordo del buque de investigación B/I Orión del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) efectuado entre los días 2 y 20 de abril del 2009 se realizó un recorrido total aproximado de 3000 millas náuticas alrededor de las Galápagos a una velocidad promedio de crucero de 7 a 8 nudos. El diseño de la investigación se baso en el sistema de grillas o trayectorias a lo largo de los transectos (coordenadas geográficas), 12 estaciones oceanográficas y 16 estaciones CTD previamente establecidas para el crucero entre los meridianos 80° W y 94° W. Las observaciones por unidad de esfuerzo comprendieron número de animales observados/transectos, así como números de animales observados/día. El tiempo de observación durante los recorridos estuvo comprendido entre las 8 y 12 horas/día. Además

se realizaron observaciones puntuales en cada estación oceanográfica, las cuales comprendieron también observaciones nocturnas. Cabe recalcar que también se realizaron avistamientos en la parte continental, Golfo de Guayaquil, durante la etapa inicial del crucero con rumbo a las Galápagos. Las observaciones fueron llevadas a cabo en la parte anterior del buque (proa) sobre el puente de gobierno. Para las observaciones se utilizaron binoculares (7x50) y una cámara fotográfica Canon EOS Digital Rebel XS 10.1 megapíxeles y un lente de 300-400 mm. Datos sobre la identificación de la especie observada, número de individuos, comportamiento, así como hora y coordenadas geográficas de los avistamientos fueron registrados. El programa de Surfer fue usado para ubicar la distribución espacial y abundancia de mamíferos marinos alrededor de las Galápagos. Para especies registradas con más de un avistamiento el promedio del número de animales observados por grupo y la desviación estándar es reportada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los cetáceos y las aves marinas observadas, con las abundancias relativas por especies, esta señalados respectivamente en la Tabla 1. En total, se realizaron 90 avistamientos de mamíferos marinos, con 11 especies confirmadas, y 460 registros de aves marinas con un total de 1.490 individuos y correspondiente a 16 especies identificadas. Algunos registros de cetáceos fueron realizados en aguas marinas cercanas a la costa ecuatoriana, incluyendo el Golfo de Guayaquil. La mayoría de los avistamientos de cetáceos se concentraron al oeste y sureste de las islas Isabela y Fernandina, entre las latitudes 1°N–2°S y longitudes 90°–94°W (Figura 1), donde se encuentran los núcleos de surgencias y reflejando las áreas mas productivas adyacentes a las Galápagos. La concentración de abundancia de especies y el alto número de avistamientos al oeste de las Galápagos ha sido previamente reportada en otras contribuciones (Merlen, 1995; Alava, 2002; Palacios y Salazar 2002; Palacios, 2003), por lo que las observaciones realizadas en este reporte corroboran dichos estudios. Cerca al continente, entre los 1°S–2°S y 86°–80°W, también se registro una alta abundancia de cetáceos, principalmente delfines comunes (*D. delphis*) y buefos (*T. truncatus*). Los tamaños

promedios de grupos (número de animales por grupo o manada contados/estimados) por especie de cetáceos avistados con mas de un observación están presentados en la Figura 2. De manera similar a los cetáceos, la mayoría de avistamientos de aves marinas se agregaron en la región rica en nutrientes entre las latitudes 1°N–2°S y longitudes 92°–91°W (Figuras 3 y 4). En términos generales tanto los mamíferos marinos y las aves marinas fueron abundantes y agregados en sitios localizados al suroeste de Galápagos en áreas comprendidas entre los 0°–2°S y 94–91°W. Sin embargo, durante el crucero las áreas con la mayor concentración de producción primaria (clorofila) con valores que oscilaron entre los 0,46–0,50 mg/m³ fueron medidos al sureste de Galápagos alrededor de las latitudes 2–3°S y longitud 88°W (Figura 5)), en donde una considerable abundancia de aves marinas también fue observada (Figuras 3 y 4). La composición porcentual de la abundancia de especies de aves marinas registradas se muestra en la Figura 6. Una descripción y discusión para las especies mas importante de cetáceos y aves marinas observadas, con énfasis en aquellas que se encuentran amenazadas, se detallan a continuación.

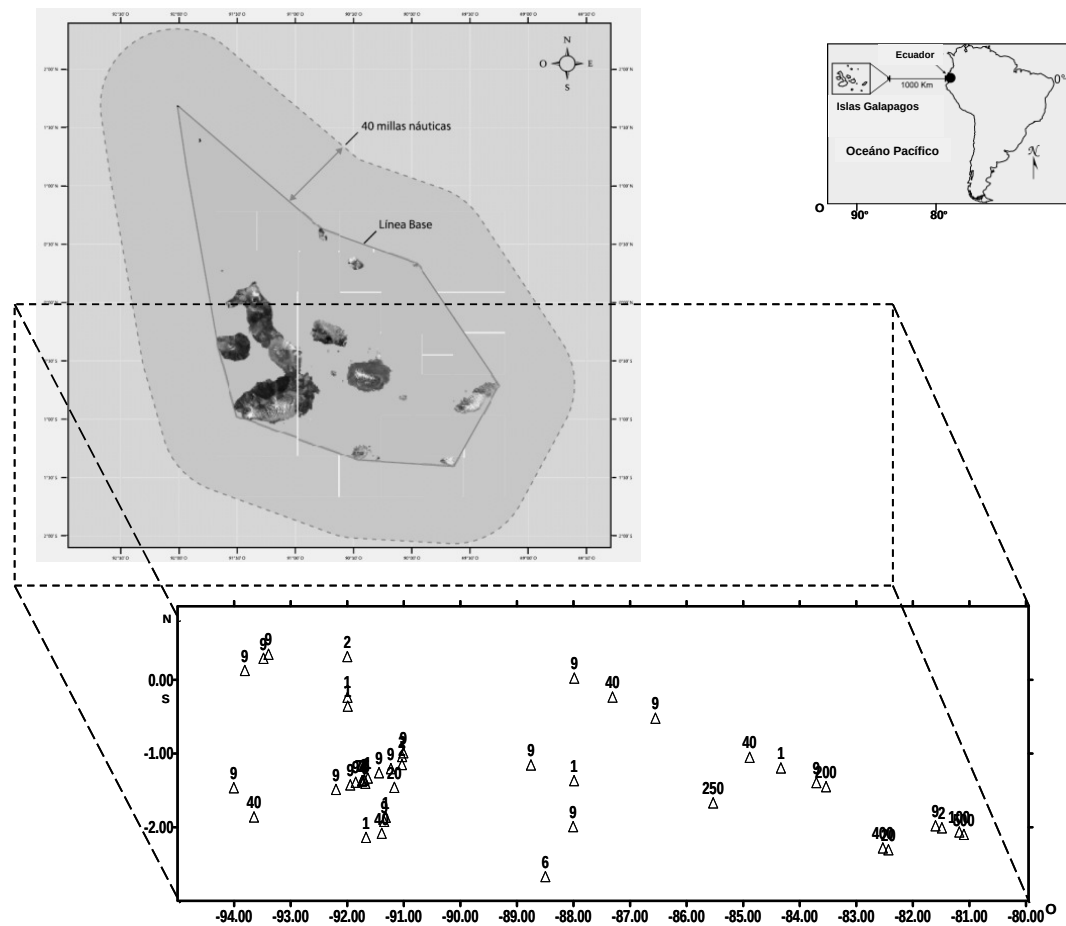


Figura 1. Distribución y abundancia de cetáceos (delfines y ballenas) en aguas dentro y fuera de la Reserva Marina de Galápagos. Las observaciones de grupos de cetáceos esta indicada por triángulos. El número arriba de los triángulos representa el número actual de animales observados en el campo (abundancia).

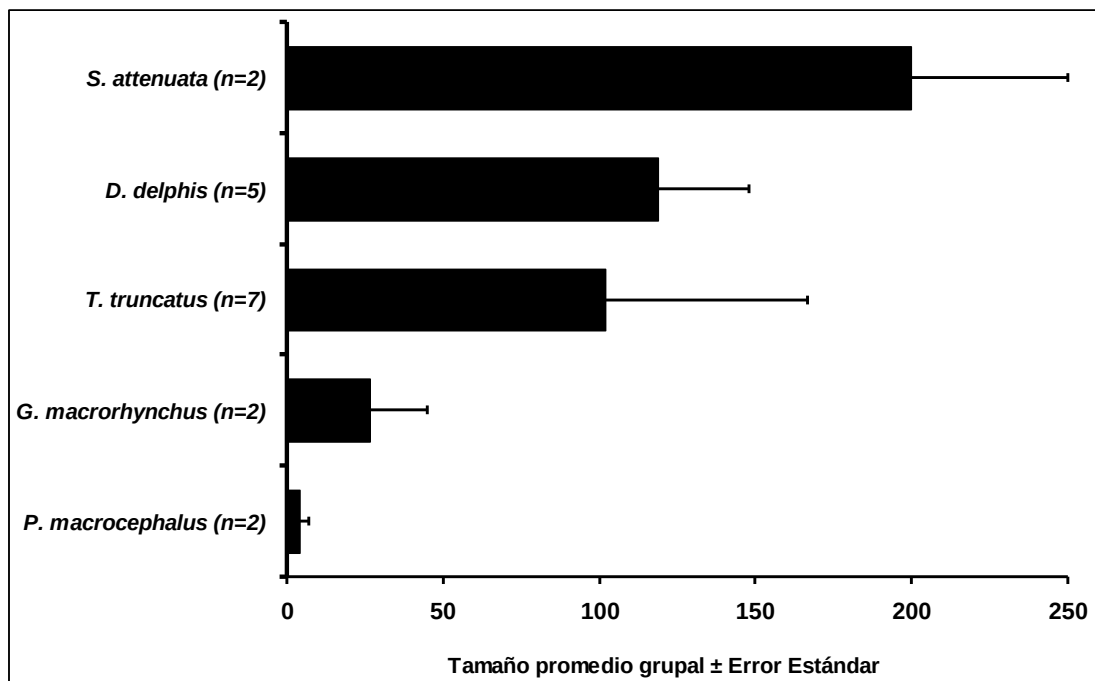


Figura 2. Tamaños promedio grupales de especies para cetáceos registrados con mas de un avistamiento durante el crucero oceanográfico. Las barras de error indican el error estándar.

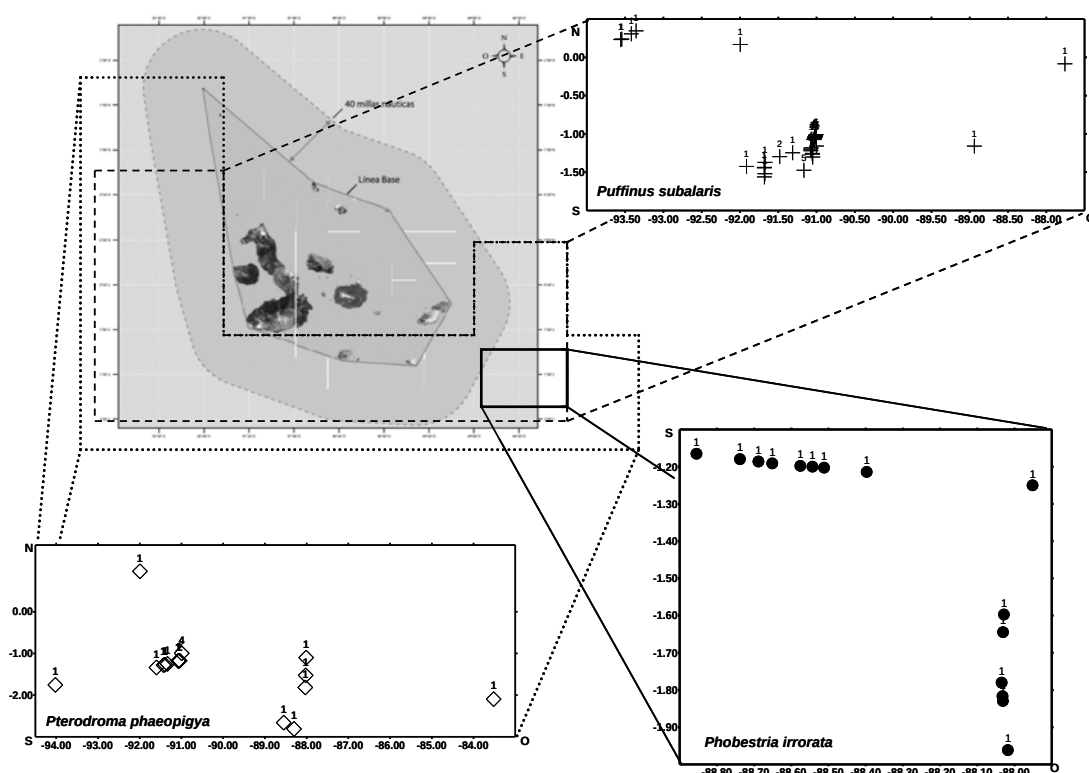


Figura 3. Distribución y abundancia de tres especies endémicas de Procelariiformes registradas en aguas dentro y fuera de la Reserva Marina de Galápagos: Albatros de Galápagos, *Phobastria irrorata* (polígono de líneas sólidas y círculo negros); Petrel o Pufino pata pegada de Galápagos, *Pterodroma phaeopigya* (polígono de líneas de puntos y rombos blancos); y Pardela de Galápagos, *Puffinus subalaris* (polígono de líneas segmentadas y cruces). El número arriba de los símbolos representa el número actual de aves observadas en el campo (abundancia).

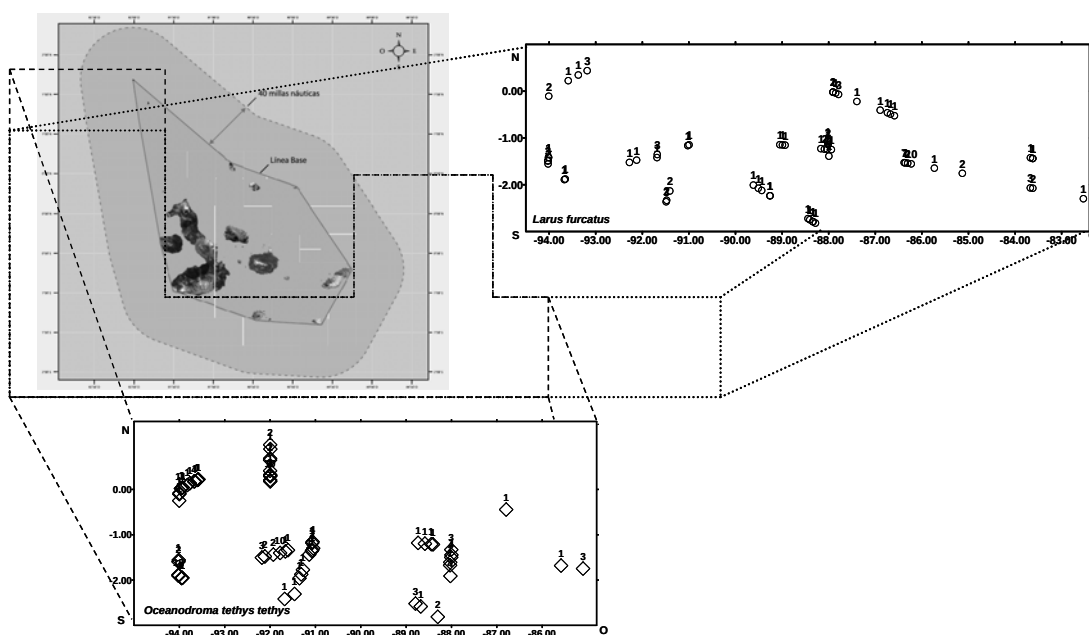


Figura 4. Distribución y abundancia de la golondrina de Galápagos, *Oceanodroma tethys tethys* (polígono de líneas segmentadas y rombos), y la gaviota de cola bifurcada, *Larus furcatus* (polígono de líneas de puntos y círculos blancos), en aguas oceánicas dentro y fuera de la Reserva Marina de Galápagos.

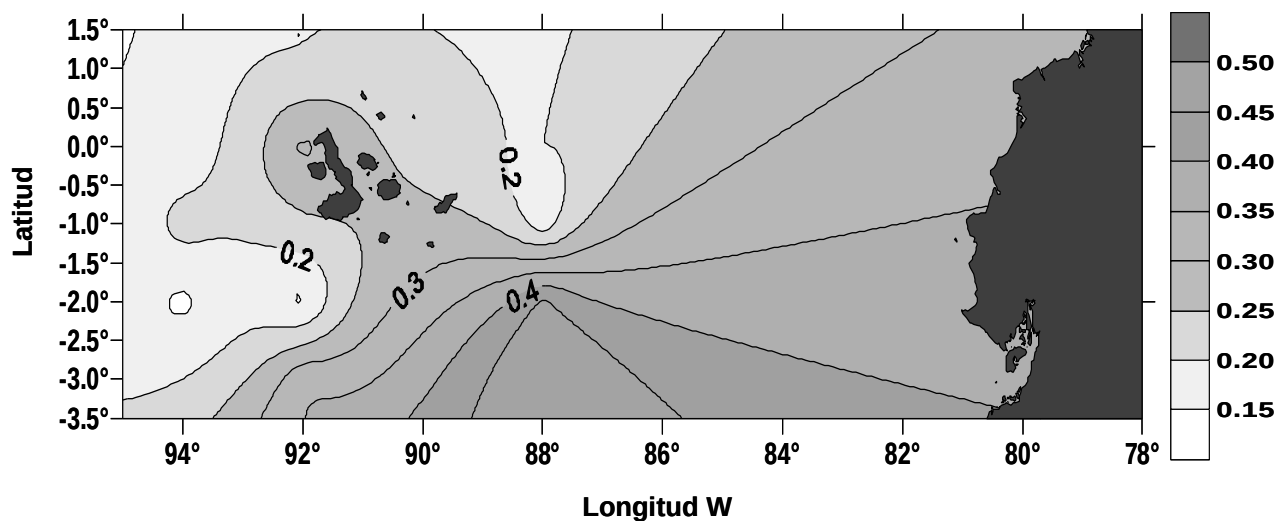


Figura 5. Distribución superficial de la Clorofila *a* (mg/m³) en el mar durante el crucero oceanográfico (CO-I-2009). En la superficie las mayores concentraciones de Clorofila *a* se registraron a los 2°S–3°S, y 88°W, con rangos entre 0.46–0.50 mg/m³. La menor concentración se observó en los 92°W con 0.14 mg/m³.

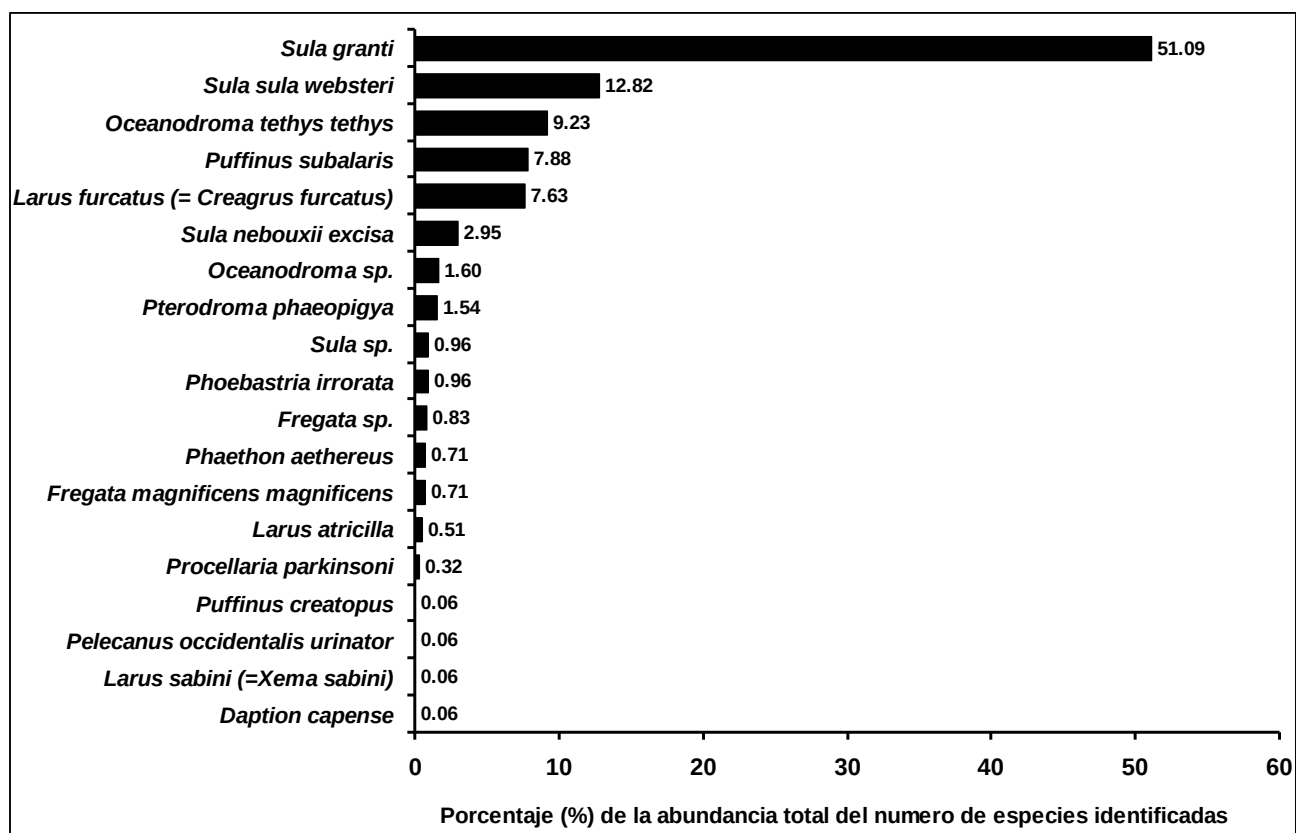


Figura 6. Composición porcentual de la abundancia relativa de especies de aves marinas registradas.

Tabla 1. Datos de campo de los mamíferos marinos identificados durante el cruceo oceanográfico

Fecha	Nombre en español	Nombre científico	Abundancia	Latitud	Longitud
02/04/2009	Ballena Azul	<i>Balaenoptera musculus</i>		-2,32614068	-79,9543037
04/04/2009	Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>	500	-2,12033091	-81,0982341
04/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-2,1026676	-81,1695473
04/04/2009	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>	100	0	0
04/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-2,05007433	-81,4126321
04/04/2009	Cachalote	<i>Kogia sp.</i>	2	-2,03090435	-81,486677
04/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-2,0106777	-81,5663602
04/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-2,00324105	-81,5995818
05/04/2009	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>	60	-1,51173994	-83,4046565
05/04/2009	Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>	200	-1,47252832	-83,535038
05/04/2009	Ballena Piloto	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	20	-1,47252832	-83,535038
05/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,41716838	-83,7061128
05/04/2009	Delfín Listado	<i>Stenella coeruleoalba</i>	60	-1,37088844	-83,8297376
05/04/2009	Odontoceto NI	Odontoceto NI	1	-1,21881528	-84,3333454
05/04/2009	Odontoceto NI	Odontoceto NI	9	-1,1950103	-84,417502
05/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	40	-1,07367044	-84,8855498
06/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-0,55080104	-86,5322495
06/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-0,54306105	-86,5514412
06/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-0,42251452	-86,8618692
06/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	40	-0,25701637	-87,310097
06/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-0,16127482	-87,5619467
06/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	0,00091	-87,9860779
07/04/2009	Ballena pequeña NI	Ballena pequeña NI	9	-1,07697044	-88,0142129
07/04/2009	Cachalote	<i>Physeter macrocephalus</i>		-1,39084841	-87,9895062
07/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,748133	-88,0343362
07/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-2,0146777	-88,0061445
08/04/2009	Ballena Piloto	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	10	-2,69316193	-88,4971106
08/04/2009	Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>	6	-2,69316193	-88,4971106
08/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	100	-2,64383032	-88,5784205
10/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,01175884	-91,0079711
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,45344501	-91,9667383
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,44878335	-91,946635
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	200	-1,4276067	-91,9174851
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,41216005	-91,8510901
15/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	4	-1,4029984	-91,7825419
15/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	2	-1,39480507	-91,7404886
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	75	-1,39319341	-91,7352069

Fecha	Nombre en español	Nombre científico	Abundancia	Latitud	Longitud
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	75	-1,39276841	-91,7334019
15/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	1	-1,39203341	-91,7311103
15/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	4	-1,38469175	-91,7075286
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,38414842	-91,7057386
15/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	2	-1,38125509	-91,696277
15/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	1	-1,37405176	-91,6756387
15/04/2009	Ballena de barba NI	<i>Balaenoptera sp.</i>	1	-1,35563512	-91,6364654
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	100	-1,33557181	-91,5932504
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,2832602	-91,4380873
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,26546522	-91,382264
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,22775193	-91,2285475
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,21453695	-91,1809176
15/04/2009	Ballena Sei	<i>Balaenoptera borealis</i>		-1,172117	-91,0328311
17/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	1	-0,7875391	-90,2860569
18/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,17868865	-88,7523453
18/04/2009	Ballena pequeña NI	Ballena pequeña NI	9	-1,24380858	-88,0863911
19/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	250	-1,69291973	-85,530414
20/04/2009	Ballena Piloto	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	10	-2,12632924	-83,3915181
20/04/2009	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>	400	-2,30433404	-82,5307541
20/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-2,32853901	-82,4322076
20/04/2009	Ballena pequeña NI	Ballena pequeña NI	20	-2,32853901	-82,4322076
20/04/2009	Odontoceto NI	Odontoceto NI	10	-2,32853901	-82,4322076
10/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	2	-1,06297212	-91,0300261
10/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,28074854	-91,0472494
10/04/2009	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>	20	-1,48153664	-91,1675276
10/04/2009	Cachalote	<i>Physeter macrocephalus</i>	1	-1,56506988	-91,1927709
10/04/2009	Ballena Azul	<i>Balaenoptera musculus</i>		-1,88827951	-91,3181174
10/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	1	-1,88827951	-91,3181174
10/04/2009	Cachalote	<i>Physeter macrocephalus</i>	9	-1,94351611	-91,3465641
10/04/2009	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>	200	-2,05466432	-91,3774724
10/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	40	-2,10527093	-91,391004
11/04/2009	Ballena Sei	<i>Balaenoptera borealis</i>	1	-2,16057253	-91,667752
11/04/2009	Ballena de barba NI	<i>Balaenoptera sp.</i>	1	-2,16057253	-91,667752
11/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	150	-1,73108302	-91,6826887
11/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,42576837	-91,6795637
11/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	40	-1,3181935	-91,674777
12/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	1	-0,3802429	-91,9917983
12/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	3	-0,2585797	-91,9958583

Fecha	Nombre en español	Nombre científico	Abundancia	Latitud	Longitud
12/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	1	-0,2585797	-91,9958583
12/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	1	-0,2585797	-91,9958583
12/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	2	0,29367633	-91,9984916
12/04/2009	Lobo Marino Galápagos	<i>Zalophus californicus</i>	1	0,39370955	-91,9997083
13/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	0,32475296	-93,3919151
13/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	80	0,28600801	-93,4491783
13/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	0,26975469	-93,4811699
13/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	0,15987815	-93,7128347
13/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	0,10463655	-93,8112129
13/04/2009	Odontoceto NI	Odontoceto NI	2	-0,3214213	-94,005336
14/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,4872833	-94,0056344
14/04/2009		<i>Lagenorhynchus hosei</i>		-1,65121311	-94,027226
14/04/2009	Ballena Pilotó	<i>Globicephala sp.</i>	40	-1,88382452	-93,6485448
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,52371659	-92,2483214
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,50940994	-92,1994514
15/04/2009	Delfín NI	Delfín NI	9	-1,4857533	-92,1392131

Cetáceos

Delfín nariz de botella o bufeo (*T. truncatus*). Esta especie de delfín fue la más comúnmente observada con altas abundancias en aguas costeras del continente (Golfo de Guayaquil) y en Galápagos, por lo que los dos ecotipos o formas deben ser diferenciados en estos avistamientos: el ecotipo costero para el caso del Golfo de Guayaquil (área de Posorja) y la costa ecuatoriana, y el ecotipo o forma oceánica identificado para aguas galapagueñas. La tamaño de grupos observados para este especie oscilo entre 1 y 400 delfines por día, con un tamaño promedio de grupo de 102 ± 172 delfines (Tabla 1; Figura 2). La máxima abundancia fue registrada entre las coordenadas 2°S y 82° – 83°W . El delfín nariz de botella es una de las especies mas frecuentemente observadas por embarcaciones y una de la más abundante en Galápagos (Merlen 1995; Smith y Whitehead 1999; Alava 2002; Palacios y Salazar 2002). La población de esta especie en al Golfo de Guayaquil ha sido estimada en aproximadamente 637 delfines (Félix 1997). A partir de un estudio de producción de carbono y biomasa, usando los registros históricos de abundancias para esta, se estimo que en Galápagos existen alrededor de 12.000 delfines bufeos en toda el área de la RMG (Alava, 2009). Esta especie desempeña una función ecológica importante como depredador tope en el ecosistema acuático de la bioregión del Golfo de Guayaquil debido a que regula las poblaciones de peces, estimándose que la población de esta región estaría consumiendo alrededor de 925 toneladas de peces por año (Alava, 2009). La amenaza principal para esta especie en la costa ecuatoriana es la captura incidental (interacción pesquera) en redes de pesca artesanales o mallas-agalleras (Van Waerebeek et al. 1997), así como por la pesca industrial del atún tropical con redes de cerco, aunque el numero de animales capturados han disminuido recientemente durante las operaciones pesqueras de la flota atunera en el Pacifico oriental tropical (Hammond et al. 2008a). El delfín nariz de botella esta dentro de la categoría de preocupación menor de la UICN (Hammond et al. 2008a).

Delfín común de hocico corto (*D. delphis*). Existen tres poblaciones (stocks) o unidades de manejo separadas de delfines comunes en el Pacifico oriental tropical: norteña, central y sureña.

La población del norte incluye dos especies, el delfín común de hocico corto (*D. delphis*) y el delfín común de hocico largo (*D. capensis*) (IATTC 2006). La especie identificada para las Galápagos corresponde a el delfín común de hocico corto y es probablemente el cetáceo pequeño mas representativo y abundante en la RGM (Smith y Whitehead, 1999; Palacios y Salazar, 2002) correspondiente al stock sureño. Durante los avistamientos de campos se observaron manadas conformadas de entre 25 y 200 delfines. El tamaño promedio de grupo fue de 119 ± 65 delfines (Figura 2). Este delfín es típico de zonas de surgencias en el Pacifico oriental tropical (Wade y Gerrodette, 1993). Debido a su asociación con el atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*), esta especie de delfín fue capturado incidentalmente en altos números durante faenas de pesca por la flota atunera (una mortalidad incidental de 24.300 delfines en 1986), pero la mortalidad por interacción pesquera de esta especie ha decrecido significativamente, con alrededor de 325 delfines en 2005 y 219 en 2007 (IATTC 2006; IATTC 2008; Hammond et al. 2008b). El delfín común esta dentro de la categoría de preocupación menor de la UICN (Hammond et al. 2008b).

Delfín manchado pantropical (*S. attenuata*). Manadas de esta especie fueron avistadas el 11 y 13 de abril (Tabla 1). Durante la primera y segunda observación hubo presencia de piqueros de Nazca (*Sula granti*) volando sobre la manada, lo cual facilito los avistamientos. El tamaño promedio de los grupos oscilo entre 175 ± 35.4 y 200 ± 70.7 delfines (Figura 2), con un rango de 150–250 delfines (Tabla 1). Esta especie de delfín es frecuentemente observada en grupos mixtos con el delfín tornillo (*Stenella longirostris*), pero esta ultima especie no fue observada. La mayoría de las observaciones del delfín manchado se han suscitado fuera de la RMG, en las aguas más cálidas al norte, y entre enero y abril también al sur del Archipiélago (Merlen 1995; Wade y Gerrodette 1993; Palacios y Salazar 2002; Palacios 2003). Palacios y Salazar (2003), basados en 519 avistamientos de este cetáceo menor entre 1973 y 2000 (Palacios 2003), reportan que el tamaño grupal promedio observado en aguas exteriores e interiores de la RMG es de 502 ± 743 delfines. En el pasado. El delfín manchado fue victima de una mortalidad masiva debido a la pesca incidental en

redes de cerco por la flota atunera del Pacífico Tropical Oriental (Hammond et al., 2008c), con un total de 3 millones de delfines manchados del stock oceánico del Noreste (población Nororiental) y más de 411.000 delfines del stock oceánico del Oeste y Sur (población Occidental y Sureño) incidentalmente capturados entre 1959 y 1972 (Wade 1995). Sin embargo, nuevas estimaciones indican que el número de delfines manchados de las poblaciones del Pacífico Tropical Oriental ha decrecido significativamente a 300 delfines en 2007, lo cual es el resultado de la implementación de límites de mortalidad para stock en la flota atunera, bajo el Programa Internacional para la Conservación de delfines (IATTC 2006; IATTC 2008). El delfín manchado está dentro de la categoría de preocupación menor de la UICN (Hammond et al. 2008c).

Delfín listado (*S. coeruleoalba*). Se realizó una sola observación de un grupo de 60 delfines de esta especie saltando en forma de tirabuzón y probablemente estuvieron acompañados de delfines tornillos (*S. longirostris*). El tamaño de grupo es muy similar al tamaño grupal promedio (60.9) reportado para el Pacífico Tropical Oriental a partir de avistamientos realizados entre 1986 y 1990 (Wade y Gerrodette 1993), pero es menor al tamaño grupal promedio encontrado para delfines listados dentro y fuera de los límites de la RMG durante el periodo 1973-2000, basado en 247 avistamientos (Palacios y Salazar 2002). Al igual que el delfín listado, esta una de las especies más frecuentemente observadas en Galápagos (Palacios y Salazar 2002). La última estimación poblacional para esta especie señala un número de 964.362 delfines (Gerrodette et al. 2008). El delfín listado está dentro de la categoría de preocupación menor de la UICN (Hammond et al. 2008d).

Delfín de Fraser (*L. hovei*). Un avistamiento de 2 o 3 manadas con cientos de delfines de Fraser (≈ 300 animales) fue realizado el 14 de abril. Durante la observación parece ser que hubo también la presencia de delfines manchados mezclados con esta especie. Este avistamiento es interesante dado al hecho de que esta especie de delfín pantropical es raramente observada en aguas de las Galápagos (Day, 1994; Smith y Whitehead, 1999), y se conoce muy poco sobre su abundancia, distribución y ecología en esta región.

Solo 10 avistamientos se efectuaron durante el periodo 1973-2000 (Palacios 2003). Smith y Whitehead (1999) registraron una manada conteniendo 300 delfines de Fraser, en aguas oceánicas de las Galápagos donde la profundidad fue de 3.400 m, mientras que Wade y Gerrodette (1993) reportaron fuera del área de la RMG y considerablemente lejos, hacia al oeste de las Galápagos, manadas conteniendo un promedio de 395 delfines, con un máximo número de 1.500 delfines, a partir de avistamientos realizados al sur de los 7°N y al oeste de los 100°W en el Pacífico tropical oriental durante el periodo 1986-1990. Este delfín parece asociarse estrechamente con manadas de la ballena cabeza de melón (*Peponocephala electra*) (Wade y Gerrodette 1993); sin embargo, esta última especie no fue observado durante este avistamiento.

Calderón o ballena piloto de aletas cortas (*G. macrorhynchus*). Este cetáceo fue observado en dos ocasiones (Tabla 1). La primera observación tomó lugar el 8 de abril, en la cual se registraron 8 calderones acompañados por dos delfines nariz de botella (buceos) y probablemente también falsas orcas (*Pseudorca crassidens*). El segundo avistamiento (14 abril) consistió de una manada de entre 40 y 50 animales, dividida en varios subgrupos, con soplos constantes. El tamaño promedio de animales por grupo o manada observado osciló entre 24 ± 22.6 y 29 ± 29.7 calderones (Figura 2), los cuales son similares o relativamente mayor al tamaño promedio de los grupos (18 ± 23) reportados por Palacios y Salazar (2002), basados en avistamiento conducidos entre los años 1973 y 2000 (Palacios 2003), y aquel reportado (18.3) por Wade y Gerrodette (1993). El calderón de aleta corta puede ser encontrado dentro y fuera de los límites de la RMG, incluyendo aguas profundas (Wade y Gerrodette 1993; Merlen, 1995; Palacios y Salazar 2002).

Cachalote *Kogia* sp. Un cachalote del género *Kogia* fue observado el 4 de abril, pero no se pudo constatar si se trató de un cachalote enano (*K. sima*) o pigmeo (*K. breviceps*). La especie registrada para Galápagos es el cachalote enano, con solo 10 avistamientos ocurridos entre el periodo 1973-2000 (Palacios 2003). Day (1994) reporta al cachalote pigmeo como existente en aguas de Galápagos, pero no existe ningún registro

confirmado para esta especie en particular, por lo que es muy poco probable o cuestionable la presencia de esta especie en la RMG (Palacios y Salazar 2002). El cachalote enano también ha sido registrado en Ecuador continental (Félix et al. 1995).

Cachalote o ballena esperma (*P. macrocephalus*). Dos avistamientos de cachalotes se suscitaron el 7 y el 10 de abril (Tabla 1). El primero correspondió a un solo individuo, probablemente un macho adulto solitario ya que el animal observado era grande, mientras que la segunda observación consistió de una manada de 7 animales. El último grupo observado probablemente correspondió a hembras y individuos subadultos/ inmaduros, lo cual es típico de la estructura y organización social de esta especie. El tamaño promedio de individuos observados por manada fue 4 ± 4.24 cachalotes (Figura 2), el cual es similar o relativamente menor a el tamaño promedio de los grupos reportados por Wade y Gerrodette (1993), y por Palacios y Salazar (2002), los mismos que fueron respectivamente de 7.9 y 6 individuos. En la RMG los avistamientos se concentran al oeste de Isabela y Fernandina, al norte de Santiago, al norte de Pinta y Marchena y al sur de Genovesa, coincidiendo con áreas de surgencias de la Corriente de Cromwell (Palacios y Salazar 2002). El cachalote es el cetáceo dentado (odontoceto) mas grande que fue frecuentemente observado alrededor de Galápagos, en donde una población local e importante de hembras y animales inmaduros existió a finales de los años 1980, con un numero estimado de aproximadamente entre 2000 y < 4000 individuos (Whitehead 2003). Sin embargo, la abundancia de esta especie en Galápagos declino drásticamente (20%/año) entre 1985 y 1995 (Whitehead et al. 1997). Una población (hembras e inmaduros) menor a 500 animales fue estimada a finales de los años 1990, indicando una reducción significativa de la población de Galápagos (Whitehead et al. 1997; Whitehead 2003). Whitehead (2003) reporto interesantemente que mientras la población de hembras e inmaduros estaba declinando, la tasa de observación de los machos adultos aumento durante el mismo periodo de tiempo (Whitehead 2003). Estas observaciones soportan la hipótesis de que las hembras y animales inmaduros probablemente se estaban desplazando a las

áreas de alimentación a los largo de la plataforma continental (Ecuador-Perú-Chile), donde previamente el stock regional de cachalotes fue reducido drásticamente durante la época ballenera (p. ej. Perú), mientras tanto los machos adultos en cambio estaban aprovechando los recursos y hábitat sin utilizar (aguas de Galápagos) para contrarrestar la competición intra-específica por hembras (Whitehead 2003). El cachalote es considerado el mayor depredador de cefalópodos de aguas profundas en Galápagos (Smith y Whitehead 2000). Basado en la abundancia absoluta de cachalotes para el Pacifico Tropical Oriental (1,36 cachalotes/1000 km²) reportada por Whitehead (2002), la abundancia absoluta para las RMG (130.000 km²) ha sido estimada en 177 cachalotes (Alava, 2009). Recientemente, un grupo de 11 individuos fue observado al oeste de la Isla Isabela en Marzo 2008 (Alava, 2009). Las observaciones realizadas en el presente estudio y ligadas con aquella efectuada por Alava (2009) proveen líneas de evidencias sustentando el hecho de que la población de cachalotes estaría probablemente recuperándose y retornando a sus áreas de alimentación en las Galápagos. El cachalotes se encuentra en estado vulnerable (VU) de acuerdo a la reciente evaluación de la UICN (Taylor et al., 2008).

Ballena azul (*B. musculus*). El avistamiento de un solo individuo de esta especie se realizo el 10 de abril a las 15:00 pm (Tabla 1). En las aguas marinas de Galápagos y su área de influencia, las ballenas azules están principalmente distribuidas a lo largo y ancho de las latitudes 3°N y 3°S, y longitudes 90°–107°W, respectivamente (Palacios 1999a; Palacios 1999b). La mayoría de las observaciones de ballenas azules están predominantemente concentradas al oeste y sureste de las Galápagos en donde se localizan en zonas de surgencias albergando aguas marinas superficiales enriquecidas con nutrientes y alta biomasa planctónica (Palacios 1999a; Alava, 2009). Interesantemente, se ha reportado recientemente la presencia de ballenas azules en aguas costeras de Ecuador (Botero-Acosta et al., 2008; Ben Haase, comunicación personal). A principio de la década de los años noventas se estimaron 1400 ballenas azules del Pacifico Tropical Sureste, incluyendo la zona ecuatorial y Galápagos (Wade y Gerrodette 1993). Aunque existe incertidumbre en su tamaño poblacional, su numero actual se

estima en aproximadamente 1000 ballenas (Reilly *et al.*, 2008). Entre 1978 y 1995, se registraron en aguas marinas de Galápagos cerca de 17 grupos de ballenas azules con un total de 36 ballenas y un número promedio por grupo de 2.1 animales; el 35% de los grupos observados contenían dos ballenas (par de ballenas), mientras que el 22% de estos grupos contenían entre 3 y 9 ballenas (Palacios 1999a; Palacios 1999b; Branch *et al.*, 2007). Esto implica que aproximadamente 4% (36/1000) de la población de ballenas azules reportadas para el Pacífico tropical sureste están presentes en la Reserva Marina de Galápagos. En Galápagos la ballena azul es menos abundante que la ballena de Bryde (Palacios y Salazar 2002). La tasa de observación para esta especie alrededor de Galápagos es de 0,25 grupos por cada 1000 km (Palacios 1999b, Branch *et al.*, 2007). Basado en la abundancia de 36 ballenas azules para toda el área de la Reserva Marina de Galápagos ($\approx 130.000 \text{ km}^2$) reportada por Alava (2009), su densidad absoluta se estima en 3 ballenas por cada 10.000 km^2 . La causa principal de la drástica reducción poblacional global de la ballena azul fue la cacería de ballenas, la cual redujo su población total entre un 70% y 90% en las últimas tres generaciones (Reilly *et al.*, 2008), aunque a diferencia de los cachalotes, aparentemente las ballenas azules no fueron cazadas en las Galápagos (Palacios 1999). Debido a que la actividad ballenera ya no está actualmente en operación y fue prohibida para esta especie en particular, esta especie está mostrando signos de recuperación (Branch *et al.*, 2007); sin embargo la ballena azul se encuentra bajo el criterio en peligro (EN) de la UICN (Reilly *et al.*, 2008). En la medida posible se debe restringir pesquerías artesanales e industriales y controlar el tráfico marítimo para buques de alto calado en áreas marinas de alimentación y reproducción de ballenas azules fuera de los límites de la RMG y en aguas neríticas de la costa ecuatoriana.

Pinnípedos.

Las dos especies de otáridos de Galápagos fueron observadas oportunisticamente: el lobo marino de Galápagos (*Zalophus wollebaeki*), y lobo peletero o de dos pelos de Galápagos (*Arctocephalus galapagoensis*). Los números poblacionales para las dos especies han disminuido críticamente, con una disminución de entre el 50% y 60% (de 40.000 animales censados en 1978-1979 a 14.000–

16.000 animales contados en 2001) para el lobo marino de Galápagos, y una reducción del 80% (de 30.000-40.000 animales censados en 1978-1979 a 6.000–8.000 animales censados en 2001) para el caso del lobo peletero (Alava y Salazar, 2006). Los dos eventos más fuertes de El Niño (ENOS) ocurridos en el último siglo (1982–1983 y 1997–1998) son una de las causas principales de esta drástica reducción afectando la dinámica poblacional de las dos especies (Alava y Salazar, 2006). Interesantemente, algunos registros de lobo peletero, incluyendo madres con crías, han sido documentados en la costa ecuatoriana (Félix *et al.* 2007), sin embargo se necesitan más estudios para confirmar la existencia de una población definitiva en Ecuador continental y diferenciarlos exclusivamente de las poblaciones del lobo peletero austral o sudamericano (*Arctocephalus australis*). Este aspecto es importante debido a que recientes estudios de genética poblacional y ecología molecular, reclasifican la filogenia del lobo peletero de Galápagos como correspondiente a una subespecie del lobo peletero austral, *Arctocephalus australis galapagoensis* (Wolf *et al.*, datos no publicados; citado por Aurióles y Trillmich 2008a). Recientemente, el estado de ambas especies ha sido evaluado y re-categorizadas como en peligro (EN) por la UICN (Aurióles y Trillmich 2008a; Aurióles y Trillmich 2008b), dado que anteriormente se encontraban en estado vulnerable.

Ornitofauna marina

Procelariiformes.

Albatros de Galápagos (*P. irrorata*). Un total de 15 albatros fueron observados al sureste y fuera de los límites de la RMG, entre las latitudes 1,10°N–2°S, y las longitudes 88,90°–87,90°W fuera de los límites de la RMG (Tabla 2; Figura 3). Algunas de las observaciones de albatros coinciden con áreas ricas en producción primaria encontradas durante el crucero (Figura 5). Por otro lado los avistamientos realizados para esta especie por este estudio son de particular atención dado que indicaría que las áreas de forrajeo y distribución oceánica para esta especie no se encuentran dentro del área protegida de la RMG, pero en cambio en las áreas circundantes externas al sureste y cerca a la costas de Sudamérica, en donde la interacción

pesquera con palangre o espinel de línea larga (long-line) y la captura dirigida por embarcaciones provenientes de Perú son las principales causas de mortalidad incidental e intencional; y por lo tanto, representan amenazas antropogénicas eminentes para la sobrevivencia de esta especie en el largo plazo (Jiménez-Uzcátegui et al., 2006; Awkerman et al., 2006; Wiedenfeld y Jiménez-Uzcátegui, 2008). El número de albatros registrados en este estudio es bien bajo comparado a los números observados por Hayes y Baker (1984), quienes registraron 350 albatros entre Junio 15 y Julio 27 de 1984, y reportaron que esta especie es más común en la parte sur de las islas y es raramente observado en la parte norte. La población de esta ave endémica de Galápagos ha sido estimada recientemente en 15.475 aves, incluyendo individuos reproductores (6.045 parejas) y no reproductores, en las únicas colonias de anidación (Punta Suárez y Punta Cevallos) encontradas en la Isla Española (Anderson et al., 2008). Esta especie represento cerca del 1% de la abundancia total de las especie de aves marinas registradas (Figura 6). Actualmente, el albatros de Galápagos se encuentra en peligro crítico (CR) (Anderson et al., 2008; BirdLife International 2009a). Acciones de manejo prioritarias para la conservación in situ de esta especie de ave marina son urgentemente requeridas a través de acuerdos internacionales entre los gobiernos de Ecuador y Perú, así como la implementación de medidas de mitigación y protección para reducir y evitar la captura incidental y directa de esta especie.

Petrel pata pegada de Galápagos (*P. phaeopigya*). Se avistaron 24 petreles pata pegadas a partir de 18 avistamientos entre las coordenadas 0,97°N–2,81°S y 94,02°–83,52°W, con ciertos registros fuera de los límites de la RMG al sureste y este de los límites de la RMG e indicando una distribución oceánica (Tabla 2; Figura 3). Existen aproximadamente entre 4500 y 5000 nidos activos de petreles pata pegada en las cinco islas (Santa Cruz, Floreana, Santiago, San Cristóbal, Isabela) en donde se han reportado colonias de anidación y reproducción para esta especie en Galápagos (Cruz-Delgado F., comunicación personal, Fundación Charles Darwin; BirdLife International 2009b). El petrel pata pegada representó 1.54% de la abundancia total de las especies de aves marinas registradas (Figura 6). Diversas amenazas tanto en tierra

(especies de plantas introducidas y depredadores introducidos; pérdida y perturbación de hábitat), como en el mar (pesquerías con espinel de línea larga) ponen en peligro la sobrevivencia de esta especie endémica de Galápagos (Wiedenfeld y Jiménez-Uzcátegui, 2008; BirdLife International 2009b). Al igual que el albatros de Galápagos, el petrel pata pegada se encuentra en peligro crítico (CR) (BirdLife International 2009b).

Pufino de Galápagos (*P. subalaris*). Se registraron 33 avistamientos de esta especie con un total de 123 pufinos de Galápagos entre las latitudes 0,36°N–1,56°S y longitudes 93,56–87,76°W (Tabla 2; Figura 3). En uno de las observaciones realizadas el 10 de abril, se observaron 5 pufinos sobrevolando sobre un grupo de 25 delfines comunes (1,47°S; 91,16°W). El pufino de Galápagos represento casi el 8% de la abundancia total de especies registradas (Figura 6). Esta especie fue previamente considerada como una subespecie de la pardela de Audobon (*Puffinus lherminieri subalaris*), pero recientemente su taxón ha sido elevado al de especie, y actualmente se la considera como una especie endémica-residente de Galápagos (Jiménez-Uzcátegui y Wiedenfeld 2002; Austin et al., 2004). Existen varias colonias de esta especie distribuidas en todo el Archipiélago y se conoce muy poco sobre su eco-biología, distribución en el mar y estado de conservación (Jiménez-Uzcátegui y Wiedenfeld 2002). Algunos registros estuvieron localizados fuera de los límites de la RMG en áreas de alta concentración de clorofila (Figura 3 y 5). La presencia de pufinos de Galápagos en estas zonas de alimentación indicaría que estas aves estarían enfrentando amenazas para su conservación debido a la pesca con palangre en aguas exteriores a la RMG y cerca al continente (Ecuador, Perú) y probablemente tenga un impacto en estas aves marinas en un futuro cercano.

Golondrinas de Mar o Petreles Tormenta (*Oceanodroma* spp.). Al menos dos especies de golondrinas de mar fueron identificadas, la golondrina de mar de Galápagos (*Oceanodroma tethys tethys*), la cual es una subespecie endémica-residente de Galápagos, y probablemente la golondrina de mar de Madeira (*Oceanodroma castro*), aunque existió incertidumbre en su identificación final, por lo que aquí se referirá como a nivel de especie no identificada (*Oceanodroma*

sp.). Para el caso de la golondrina de mar de Galápagos se efectuaron 67 avistamientos con un total de 144 golondrinas entre los 0,98°N–2,81°S y 94,0–85,1°W (Tabla 2; Figura 4); mientras que para *Oceanodroma* sp., se registraron 25 avistamientos con un total de 84 golondrinas entre los 0,30°N–2,81°S y 94,02–83,71°W. Estos avistamientos indican una distribución oceánica amplia, incluyendo aguas interiores y exteriores de la RMG, principalmente en los núcleos de afloramientos al suroeste y pronunciadamente hacia al sureste fuera de los límites de la RMG, cerca de la plataforma continental entre los 2°S y 85°–82°O, donde altos valores de producción primaria fueron detectados (Figura 5). Estas observaciones coinciden con aquellas reportadas por Hayes y Baker (1989), quienes encontraron abundante presencia de golondrinas de mar, incluyendo *O. tethys tethys* y la golondrina de Elliot (*Oceanites gracilis galapagoensis*), en la parte occidental de Galápagos en áreas de surgencias, ricas en producción primaria, y soportando el hecho de que estas son áreas de alimentación para estas aves. Generalmente, la golondrina de Galápagos (*O. tethys tethys*) se localiza cerca de San Cristóbal, Genovesa e Isabela, y la golondrina de Madeira *O. castro* se encuentra cerca de Santa Cruz, Isabela, Floreana, Plaza Norte, Plaza Sur, Daphne, Genovesa y Bartolomé (Jiménez-Uzcátegui y Wiedenfeld 2002). Se requieren más estudios actualizados para estas especies de golondrinas de mar.

Otras Procelariiformes. Además de las aves Procelariiformes mencionadas arriba, se hicieron registros de otras especies, aunque en escasos números, los cuales incluyen (Tabla 2; Figura 6): petrel de Parkinson (*Procellaria parkinsoni*), pardela sombría (*Puffinus griseus*), petrel pintado (*Daption capense*) y pardela patirosada (*Puffinus creatopus*), y al menos dos especies no identificadas (*Puffinus* sp.; *Procellaria* sp.). Particular atención ameritan las observaciones del petrel de Parkinson y la pardela patirosada, las cuales se encuentran en estado vulnerable (VU) a lo largo de sus rangos de distribución geográfica en el Océano Pacífico (BirdLife International 2009c; BirdLife International 2009d), mientras que la pardela sombría se encuentra bajo el estatus de casi amenazada (NT) (BirdLife International 2009e).

Lariformes

Gaviota de Cola Bifurcada o Rabihorcada (*Larus furcatus* = *Creagrus furcatus*) **y otras gaviotas.** Esta gaviota endémica de Galápagos fue avistada en 69 ocasiones, con un número total de casi 120 gaviotas entre las latitudes 0,43°N–2,83°S y longitudes 94,02°–82,53°O (Tabla 2; Figura 4). Una proporción importante de las observaciones (33.4%) fueron realizadas en horas del atardecer-noche (16:33–20:00pm PET), debido a los hábitos de alimentación nocturna de esta especie. De acuerdo a las observaciones de campo, su distribución oceánica y áreas de forrajeo incluye también áreas lejos y fuera de los límites de la RMG hacia el este entre los 0,00°N–3,00°S, y 88,30°–82,00°W (Figura 4). Las colonias de estas gaviotas están distribuidas en casi todas las islas del Archipiélago (Harris 1970). Recientemente, la gaviota bifurcada ha sido reportada como nuevo registro de especie de ave marina en la Isla Gorgona, Colombia (Estela et al., 2007). Otras gaviotas observadas en números muy escasos fueron la gaviota reidora (*Larus atricilla*) y la gaviota de Sabina (*Larus sabini* = *Xema sabini*), así como dos ejemplares de gaviotines, cuyas especies no pudieron ser identificadas durante las observaciones de campo (*Sterna* spp.).

Pelecaniformes

Piqueros (*Sula* spp.), **Fragatas** (*Fregata* spp.), **Pájaros Tropicales** (*Phaethon aethereus*) **y Pelicano Pardo** (*Pelecanus occidentalis urinator*). Se identificaron cuatro especies de piqueros, entre ellas las tres especies comúnmente registradas para Galápagos: piquero de patas azules (*Sula nebouxii excisa*), piquero de Nazca (*Sula granti*) y piquero de patas rojas (*Sula sula websteri*); así como una especie de piquero no identificada durante el avistamiento (*Sula* sp.). Los piqueros, *S. nebouxii excisa* y *S. sula websteri* son subespecies endémicas-residentes para Galápagos, mientras que el piquero de Nazca (*S. granti*) es catalogado como especie endémica-residente (Jiménez-Uzcátegui y Wiedenfeld 2002). En total se realizaron 200 avistamientos, incluyendo todas las especies, con un total de 1058 piqueros. El piquero patas azules se registro entre los 1,00°N–2,31°S y 92,00°–81,21°W, mientras que el piquero de Nazca fue registrado entre las coordenadas 0,88°N–2,81°S y 94,02°–81,25°W. El piquero patas

rojas se lo registro entre las latitudes 0,30N–2,10S y longitudes 94.01°–81,25°W. Estos avistamientos indican una distribución oceánica en núcleos de afloramientos al oeste y sureste del Archipiélago, dentro y fuera de los límites de la RMG, así como en aguas marinas cerca al continente (Golfo de Guayaquil). La especie de piquero mas abundante fue el piquero de Nazca representando el 75% (797 piqueros) del total de piqueros observados, mientras que los piqueros patas rojas y azules representaron el 19% (200 piqueros) y 4.35% (46 piqueros) del total, respectivamente. El piquero de Nazca también fue la especie de ave marinas mas abundante en relación a todas las especies reportadas, representando el 51% de la composición total de la abundancia de especies (Figura 6). Este piquero en particular fue observado en algunas ocasiones sobrevolando y pescando con piqueros patas rojas y delfines. La abundante presencia de piqueros (*S. neboxii excisa*; *S. granti*) en la parte occidental de las islas, donde se encuentran los núcleos de surgencias, también ha sido reportado previamente (Hayes y Baker 1989). Las abundancias y coordenadas de avistamientos para fragatas, pájaros tropicales y pelicanos pardos están señaladas en la Tabla 2. Dos especies de fragatas fueron registradas, entre ellas la fragata real (*F. magnificens magnificens*), la cual es una subespecie endémica-residente de Galápagos (Jiménez-Uzcátegui y Wiedenfeld 2002), y una especie de fragata no identificada (*Fregata* sp.), la cual probablemente fue la fragata común (*F. minor*). Se registro un solo avistamiento de un ejemplar de pelicano pardo, el cual es una subespecie de pelicano endémica-residente y exclusiva de Galápagos (Jiménez-Uzcátegui y Wiedenfeld 2002). El pajar tropical fue registrado en 10 avistamientos, con un total de 11 individuos. Se conoce muy poco sobre la bio-ecología y situación actual de estas dos ultimas especies en Galápagos.

AGRADECIMIENTO

A los directivos del Instituto Oceanográfico de la Armada por el apoyo logístico e institucional brindado durante el crucero, a Julia O'Hern, investigadora de la Universidad de Texas A&M, la Administración Oceanográfica y Kevin Barry de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) por facilitar sus equipos para la toma de

datos y colaborar con las observaciones durante el crucero. A la Fundación Ecuatoriana para el Estudio de Mamíferos Marinos (FEMM) y Aves & Conservación por su respaldo institucional.

REFERENCIAS

Alava, J.J. 2002. Registros y abundancia relativa de mamíferos marinos durante el Crucero Oceanográfico insular B/I ORION (CO-II-2000) en las Islas Galápagos y sus alrededores. *Acta Oceanográfica del Pacífico* 11: 165-172.

Alava, J.J. & S. Salazar. 2006. Status and conservation of Otariids in Ecuador and the Galápagos Islands. p. 495-518. En: *Sea Lions of the World*, W Trites, S.K. Atkinson, D.P. DeMaster, L.W. Fritz, T.S. Gelatt, L.D. Rea, and K.M. Wynne (Ed.) Alaska Sea Grant College Program. USA. 666 p.

Alava, J. J. 2009. Carbon productivity and flux in the marine ecosystems of the Galapagos Marine Reserve based on cetacean abundances and trophic indices. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(1):109-122.

Anderson, D.J., Huyvaert, K.P., Awkerman, J.A., Proaño, C.B., Milstead, W.B., Jiménez- Uzcátegui, G., Cruz, S., and Grace, J. K. 2008. Population status of the Critically Endangered waved albatross (*Phoebastria irrorata*), 1999-2007. *Endangered Species Research* 5: 185–192.

Aurioles, D. & Trillmich, F. 2008a. *Arctocephalus galapagoensis*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 21 July 2009

Aurioles, D. y Trillmich, F. 2008b. *Zalophus wolfebaeki*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <http://www.iucnredlist.org/>. Downloaded on 23 June 2009

Austin, J.J., V. Bretagnolle, and E. Pasquet. 2004. A global molecular phylogeny of the small Puffinus shearwaters and implications for systematics of the Little-Audubon's Shearwater complex. *Auk* 121: 847-864

Awkerman J.A., Huyvaert K.P., Mangel J., Alfaro-Shigueto J., Anderson D.J. 2006. Incidental and

intentional catch threatens Galápagos waved albatross. *Biological Conservation* 133: 483–489

Ballance, L.T., R.L. Pitman, y P.C. Fiedler. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the Eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69:360-390

BirdLife International. 2009a. Species factsheet: *Phoebastria irrorata*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 29/7/2009

BirdLife International. 2009b. Species factsheet: *Pterodroma phaeopygia*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 29/7/2009

BirdLife International. 2009c. Species factsheet: *Procellaria parkinsoni*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 31/7/2009

BirdLife International. 2009d. Species factsheet: *Puffinus creatopus*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 31/7/2009

BirdLife International (2009) Species factsheet: *Puffinus griseus*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 31/7/2009

Botero-Acosta, N., F. Felix, J. Falconi. 2008. Observación de una ballena azul (*Balaenoptera muculus*) alimentándose en aguas costeras de Ecuador. Resúmenes de la XIII Reunión de Trabajo de Especialistas en Mamíferos Acuáticos de América del Sur y 7º Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas de Mamíferos Acuáticos (SOLAMAC). 13-17 Octubre 2008. Montevideo, Uruguay. p. 114

Kahn, DK Ljungblad, B Maughan, RD McCauley, S Mckay, TF Norris, S Rankin, F Samaran, D Thiele, K van Waerebeek and RM Warneke. 2007. Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean. *Mammal Review* 37: 116-175.

Bustamante, R.H., Wellington, G.M., Branch, G.M. Edgar, G.J., Martinez, P., Rivera, F. Smith, F., and Witman, J.. 2002. Outstanding marine features of Galapagos. In *A Biodiversity vision for the Galapagos Islands*. R. Bensted-Smith (ed.). Charles Darwin Foundation and World Wildlife Fund, Puerto Ayora,

Santa Cruz, Galapagos. pp. 60–71

Danulat, E. y Edgar, G.J. (eds.) 2002. Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. 484 pp.

Day, D. 1994. List of cetaceans seen in Galapagos. *Noticias de Galapagos* 53:5-6.

Estela, F.A., Jeisson A. Zamudio, J.A & G. Cadena-López. 2007. Adiciones a la avifauna marina del Parque Nacional Natural Gorgona. *Boletín SAO XVII* (1): 31-35.

Félix, F., B. Haase y J. Samaniego. 1995. Primeros registros de la orca pigmea *Feresa attenuata* (Cetacea, Delphinidae) y del cachalote enano *Kogia simus* (Cetacea, Physeteridae) en Ecuador continental. *Estudios Oceanológicos* 14: 77-85

Félix, F. 1997. Organization and social structure of the bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Aquatic Mammals*, 23(1):1-16.

Félix F., P. Jiménez, J. Falconí and O. Echeverry. 2007. New cases and first births of the Galapagos fur seal *Arctocephalus galapagoensis* (Heller, 1904) from the mainland coast of Ecuador. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42:77-82.

Gerrodette, T., G. Watters, W. Perryman, and L. Ballance. 2008. Estimates of 2006 dolphin abundance in the eastern tropical Pacific, with revised estimates from 1986-2003. NOAA Tech. Memo. NMFS-NOAA-TM-NMFS-SWFSC-422. 39 pp. <http://swfsc.noaa.gov/publications/TM/SWFSC/NOAA-TM-NMFS-SWFSC-422.pdf>

Granizo, T., Pacheco C, Rivadeneira MB, Guerrero M & L Suárez 2002. Libro Rojo de las Aves del Ecuador. SIMBIOE/Conservation International / EcoCiencia/Ministerio del Ambiente/ UICN. Serie Libros Rojos del Ecuador, tomo 2. Quito, Ecuador, 462 pp.

Hammond, P.S., Bearzi, G., Bjørge, A., Forney, K., Karczmarski, L., Kasuya, T., Perrin, W.F., Scott, M.D., Wang, J.Y., Wells, R.S. and Wilson, B. 2008a. *Tursiops truncatus*. In: IUCN 2009. IUCN

Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 25 June 2009

Hammond, P.S., Bearzi, G., Bjørge, A., Forney, K., Karczmarski, L., Kasuya, T., Perrin, W.F., Scott, M.D., Wang, J.Y., Wells, R.S. and Wilson, B. 2008b. *Delphinus delphis*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 25 July 2009.

Hammond, P.S., Bearzi, G., Bjørge, A., Forney, K., Karczmarski, L., Kasuya, T., Perrin, W.F., Scott, M.D., Wang, J.Y., Wells, R.S. and Wilson, B. 2008c. *Stenella attenuata*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 28 July 2009.

Hammond, P.S., Bearzi, G., Bjørge, A., Forney, K., Karczmarski, L., Kasuya, T., Perrin, W.F., Scott, M.D., Wang, J.Y., Wells, R.S. and Wilson, B. 2008d. *Stenella coeruleoalba*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 29 July 2009.

Harris M.P. 1970. Breeding ecology of the swallow-tailed gull, *Creagrus furcatus*. *Auk* 87: 215–243.
Hayes F.E. and Baker W.S. 1984. Seabird distribution at sea in the Galapagos Islands: environmental correlations and associations with upwelled water. *Colonial Waterbirds* 12:60-66

IATTC. 2006. Technical workshop on calculating NMN for the dolphin stocks of the Eastern Pacific Ocean. Special Report 14. Inter-American Tropical Tuna Commission. La Jolla, California, USA. 35p.

IATTC. 2008. New estimates of dolphin abundance from NMFS surveys. Document SAB-06-03 ADD. Scientific Advisory Board, 6th Meeting, 3 November 2008. Inter-American Tropical Tuna Commission-International Dolphin Conservation Program. La Jolla, California, USA. 2p.

Jiménez-Uzcátegui, G. y Wiedenfeld, D. A. 2002. Aves marinas. In: Danulat E & GJ Edgar (eds). Reserva Marina de Galápagos, Línea Base de la Biodiversidad, Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos. pp. 343-372.

Jiménez-Uzcátegui, G., Mangel, J., Alfaro-Shigueto, J. and Anderson, D. J. 2006. Fishery bycatch of the Waved Albatross *Phoebastria irrorata*, a need for implementation of agreements. *Galápagos Research* 64: 7–9.

Merlen, G. 1995. A Field Guide to the Marine Mammals of the Galapagos, 130 pp. Instituto Nacional de Pesca, Guayaquil.

Palacios DM. 1999a. Marine mammal research in the Galápagos Islands: The 1993-1994 Odyssey Expedition. Final Report, 46 pp. Galapagos National Park Service and Charles Darwin Research Station, Puerto Ayora, Islas Galápagos.

Palacios DM. 1999b. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) occurrence off Galapagos Islands, 1978-1995. *Journal of Cetacean Research and Management* 1: 41-51.

Palacios, D.M. y Salazar, S. 2002. Cetáceos. In: Danulat E & GJ Edgar (eds). Reserva Marina de Galápagos, Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos. pp. 291-304

Palacios, D.M. 2003. Oceanographic conditions around the Galapagos Archipelago and their influence on cetacean community structure. Ph. D. Thesis, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 178 pp.

Pennington, J.T., K.L. Mahoney, V.S. Kuwahara, D.D. Kolber, R. Calienes y F.P. Chavez. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 285-317.

Reilly, S.B., Bannister, J.L., Best, P.B., Brown, M., Brownell Jr., R.L., Butterworth, D.S., Clapham, P.J., Cooke, J., Donovan, G.P., Urbán, J. & Zerbini, A.N. 2008. *Balaenoptera musculus*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. < www.iucnredlist.org >. Downloaded on 13 July 2009.

Salazar, S. 2002. Galápagos sea lion and fur seal. In: E. Danulat and G.J. Edgar (eds.), Reserva Marina de Galápagos, Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador, Cap. 15, pp. 267-290.

Smith, S. D., and Whitehead H. 1999. *Distribution of dolphins in Galapagos waters.* *Marine Mammal Science* 15:550-555.

Smith SC and Whitehead H. 2000. *The diet of Galápagos sperm whales Physeter macrocephalus as indicated by fecal sample analysis.* *Marine Mammal Science* 16: 315-325.

Taylor, B.L., Baird, R., Barlow, J., Dawson, S.M., Ford, J., Mead, J.G., Notarbartolo di Sciara, G., Wade, P., and Pitman, R.L. 2008. *Physeter macrocephalus.* In: IUCN 2009. *IUCN Red List of Threatened Species.* Version 2009.1. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 27 July 2009.

Van Waerebeek, K., M. Van Bresseem, F. Félix, J. Alfaro, A. García, L. Chávez, K. Otón, D. Montes and R. Bello. 1997. *Mortality of dolphins and porpoises off Peru and southern Ecuador in 1994.* *Biological Conservation* 81:43-49.

Wade, P.R. y T. Gerrodette 1993. *Estimates of cetacean abundance and distribution in the eastern tropical Pacific.* *Report of the International Whaling Commission* 43: 477-493.

Wade, P.R. 1995, *Revised estimates of incidental kill of dolphins (Delphinidae) by the purse-seine tuna fishery in the eastern tropical Pacific, 1959-1972.* *Fishery Bulletin* 93:345-354

Wiedenfeld, D.A. y Jiménez-Uzcategui, G. 2008. *Critical problems for bird conservation in the Galapagos Islands.* *Cotinga* 29:22-27

Whitehead H., Christal J., y Dufault S. 1997. *Past and distant whaling and the rapid decline of sperm whales off the Galápagos Islands.* *Conservation Biology* 11:1387-1396

Whitehead H. 2003. *Sperm whales: social evolution in the ocean,* 431 pp., University of Chicago Press, Chicago.

Whitehead H. 2002. *Estimates of the current global population size and historical trajectory for sperm whales.* *Marine Ecology Progress Series* 242: 295-304.

INVESTIGACIONES DE LA AVIFAUNA MARINA EN AGUAS CONTINENTALES ECUATORIANAS CON ENFASIS EN SU DISTRIBUCIÓN, DIVERSIDAD, ABUNDANCIA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

Ana Agreda¹
Santiago Torres²
Ben Haase²
Jorge Samaniego^{1,2}

RESUMEN

Esta investigación es parte de un estudio de prospección sísmica dentro del proyecto denominado Investigación Geofísica de la Plataforma Continental del Ecuador. En esta investigación se realizó un levantamiento de información sobre la diversidad, abundancia y estado poblacional y de conservación de las aves marinas en aguas continentales ecuatorianas y se identificó sitios sensibles y prioritarios para la conservación. Este estudio registró un total de 27 especies de aves marinas pertenecientes a 10 familias. La familia que registró el mayor número de especies fue Laridae (gaviotas y gaviotines) con ocho especies. La composición de especies registradas incluyó a formas marinas migratorias con 17 especies y residentes con nueve especies que se reproducen en Ecuador. También se reportan registros de especies importantes para la conservación tales como Phoebeastria irrorata, Puffinus creatopus, P. griseus, Procellaria parkinsoni y la confirmación de una especie anteriormente no evidenciada en Ecuador que es Sula leucogaster. Esta investigación también realiza un análisis del estado de conservación de las aves marinas en áreas de nidificación importantes tales como las islas de La Plata y Sta. Clara. Ambos sitios considerados áreas de importancia para las aves (IBA por sus siglas en inglés) y refugios de vida silvestre para aves marinas en Ecuador continental.

ABSTRACT

This investigation is part of a seismic prospection study within the project entitled Geophysics Research of the Ecuadorian Continental Shelf. The objectives of this study were to determine diversity, abundance and to learn the population and conservation status of seabirds in ecuadorian waters, as well as to identify sensitive areas and priority sites for conservation. During the field study we recorded a total of 27 species belonging to 10 families. The family with the highest number of species was Laridae (gulls and terns) with eight species. The composition of species diversity included two different groups. A larger group of 17 migratory species and a group of eight resident species that reproduce in Ecuador. This study also accounts for important bird species for conservation such as Phoebeastria irrorata, Puffinus creatopus, P. griseus, Procellaria parkinsoni and confirms the presence of a previously not recognized species in Ecuador, Sula leucogaster. This investigation also reviews the conservation status of seabirds and their breeding colonies with emphasis on isla de La Plata and Sta. Clara, both of them considered Important Bird Areas (IBAs) and wildlife refuges for seabirds in mainland Ecuador.

Palabras claves: aves marinas, aguas continentales ecuatorianas, sistema de afloramiento peruano, frente ecuatorial, aguas cálidas tropicales, aves migratorias y residentes.

¹Aves&Conservación (Corporación Ornitológica del Ecuador) / aagreda@avesconservacion.org

²Fundación Ecuatoriana para el Estudio de Mamíferos Marinos

INTRODUCCIÓN

Las aves marinas se distribuyen desde las latitudes circumpolares más extremas hasta los trópicos (Harrison 1983) y han conquistado una diversidad de hábitats costeros y oceánicos. Estas aves conforman un grupo especializado de aves acuáticas que lograron adaptarse exitosamente a las condiciones adversas de los océanos. Solo el 3-4% de las aves del mundo (c. 9000 especies) habitan los mares (Delgado 2008). Entre sus principales adaptaciones se observa que estas aves exhiben tiempos de vida prolongados, número de descendencia reducida, alcanzan la madurez sexual tardíamente y tienen una vida dividida entre el mar y la tierra, ya que dependen de los océanos para encontrar su alimento, pero regresan a tierra para reproducirse (Furness & Monaghan 1987). Estas características vuelven a las poblaciones de aves marinas extremadamente vulnerables a los impactos negativos de las actividades humanas tales como la sobreexplotación pesquera (e.g., Tasker et al. 2000, Jahnke et al. 2004), la pesca incidental (e.g., Neves & Olmos 1998, Tasker et al. 2000), la destrucción de sus hábitats de nidificación en islas oceánicas (e.g., van Aarde 1979 en Kress 1998) y las fluctuaciones climáticas (e.g., Anderson 1989, Ainley et al. 1990, Duffy 1993).

Los mares frente a las costas ecuatorianas se encuentran dentro del sistema peruano de afloramiento de la corriente fría de Humboldt que abarca un área estimada de 120 mil km² entre las latitudes 5° y 18°S pero alcanza hasta los 220 mil km² durante los años de la Niña (Nixon & Thomas 2001). El Ecuador se caracteriza por la presencia del frente ecuatorial que es una zona de transición que se compone por dos masas de agua distintas: la corriente fría de Humboldt que viene del sur y la tropical cálida superficial pobre en nutrientes que proviene del norte (Okuda et al. 1983, Rodríguez 1990). La masa sureña del frente ecuatorial registra aguas costeras peruanas desde los 0 hasta los 160 m de profundidad que son de baja temperatura y alta cantidad de nutrientes; también se registran las aguas ecuatoriales subsuperficiales (20 – 300 m) y aguas ecuatoriales profundas (200 – 500 m) que son muy frías contienen bajos niveles de oxígeno y gran cantidad de nitratos y fosfatos (Okuda et al. 1983).

La productividad primaria del sistema de afloramiento peruano forma la base de una cadena trófica que incluye plancton, peces, aves y predadores mayores (Jahnke et al. 2004). La distribución de las aves marinas en aguas continentales ecuatorianas no ha sido bien estudiada. Mientras tanto que frente a las costas del norte de Perú desde los 4°S cerca del límite con Ecuador, hasta el centro de Chile alrededor de la isla Mocha 38°S se reconocen los límites de un área de endemismo para aves marinas directamente relacionada con el afloramiento de nutrientes de la corriente fría y costera de Humboldt (Murphy 1936, Schlatter & Simeone 1999, Simeone et al. 2003). En el Ecuador las concentraciones más altas de aves marinas coinciden con áreas enriquecidas por estas corrientes marinas frías tal como en las islas de La Plata y Sta. Clara (Ortiz-Crespo & Agnew 1992, Valle 1997, Suárez & Calle 2005).

Esta investigación se realiza como parte de un estudio de prospección sísmica dentro del proyecto denominado Investigación Geofísica de la Plataforma Continental del Ecuador. En esta investigación se realizó un levantamiento de información sobre la diversidad y estado poblacional de las aves marinas en aguas continentales ecuatorianas entre las latitudes 3°20'11"S hasta 1°20'00"N en diciembre del 2008 a bordo del buque de investigaciones BAE Orión de la Armada Nacional.

Los objetivos de esta investigación son determinar la composición y abundancia de las poblaciones de aves oceánicas, marinas y costeras dentro de las potenciales zonas de intervención del proyecto de prospección. Esta información nos permitirá identificar patrones de diversidad y abundancia y sitios sensibles. Esta información ayudará sobretodo a los tomadores de decisiones a diseñar estrategias de conservación y planes de manejo de las poblaciones de aves marinas en las costas y mares ecuatorianos.

METODOLOGÍA

La información sobre diversidad de aves marinas que se presenta en este estudio fue recogida entre 12 y 18, y la mayor parte del 21 de Diciembre de 2008. Dentro de este período se realizaron un

total de 13 travesías durante las cuales se realizaron conteos de todas las aves marinas observadas. La observación de las aves marinas se realizó con binoculares (10X40) desde el magistral o cubierta superior del buque de investigación BAE Orion. Dicha cubierta se encuentra alrededor de 18 m sobre el nivel del mar hasta la altura del observador; y nos permitió tener una observación de 360° del área de la travesía. Las observaciones se realizaron durante las horas de luz entre 06h00 de la mañana y 18h30 de cada día. Al menos uno de los dos observadores entrenados estuvieron en cubierta registrando las observaciones a las aves marinas. Los observadores se intercalaron por breves intervalos de tiempo durante la hora de las comidas (Clarke et al. 2002). La velocidad de la embarcación promedió entre 10 y 12 nudos por hora.

Durante las observaciones se registró la composición de los grupos de aves marinas, el número de individuos por especie y la distancia desde la embarcación categorizada dentro de dos bandas: 0 hasta 200 m y 200 hasta 1000 m de distancia. También se registraron aves que estuvieron más lejos de los 1000 m pero debido a que la identificación es más difícil y la detección es más baja, no fueron consideradas dentro de este estudio. Todas las aves que estuvieron sentadas en el agua al igual que las que volaron fueron contabilizadas continuamente. Los estimativos de densidad absoluta se calcularon en base al número de individuos registrados por área (km^2) recorrida para todas las especies abundantes (Zink 1981). En cada caso se intentó identificar a las aves hasta el nivel taxonómico más específico. La nomenclatura científica y de nombres comunes utilizada en este estudio sigue la clasificación taxonómica del comité sudamericano (Remsen et al. 2009).

RESULTADOS

Este estudio registró un total de 27 especies de aves marinas pertenecientes a 10 familias (Tabla 1). La familia que registró el mayor número de especies fue Laridae (gaviotas y gaviotines) con ocho especies. En relación al número de registros por especie se observa que 14 especies estuvieron representadas por menos de 10 registros, 4 especies por menos de 50, tres por menos de 100, y las seis restantes fueron aves muy numerosas y

fueron registradas en todas las travesías aunque en números variables. Los estimativos de densidad fueron calculados solamente para las especies numerosas seleccionadas (Tabla 2).

La diversidad de aves registrada fue mayor durante las travesías más largas. Se registraron 14, 11, 13 y 16 especies en las travesías 1, 2, 9 y 13 (Figura 1). La distancia más larga recorrida corresponde a la travesía 13 entre las localidades de Esmeraldas y Manta, este fue un viaje de retorno de aproximadamente 300 km. Las distancias recorridas durante las travesías más cortas estuvieron dentro del rango de 10.7 hasta 73 km y la diversidad promedio fue de 8.22 ± 1.98 . La concentración de especies fue alta en tramos cortos recorridos alrededor de la isla de La Plata, específicamente durante las travesías 3 y 4, y también durante la travesía 12 frente a las costas de Esmeraldas (Figura 1).

La composición de especies registradas durante esta investigación se caracteriza por la presencia de dos grupos de aves marinas: las formas migratorias y residentes (Tabla 1). Los residentes conforman un grupo de nueve especies cuyas colonias de nidificación son islas dentro del espacio marino ecuatoriano. Las especies residentes *Fregata magnificens*, *Pelecanus occidentalis*, *Phaethon aethereus*, *Sula sula*, *S. nebulosus* y *S. granti* tienen colonias reproductivas en las islas de La Plata y Sta. Clara. Las especies residentes *Phoebastria irrorata*, *Puffinus subalaris* y *Oceanodroma tethys* se reproducen principalmente en las islas Galápagos.

Las formas migratorias conforman un grupo de 17 especies entre aves migratorias australes, boreales y transoceánicas (Tabla 1). También se registró la presencia de especies accidentales en mares de Ecuador; es decir cuyas poblaciones reproductivas no se encuentran dentro de los límites, pero que eventualmente pueden extender su rango de distribución hacia nuestro territorio (Tabla 1).

A continuación se presenta información de los registros más relevantes logrados durante el crucero de investigación dentro de aguas continentales ecuatorianas.

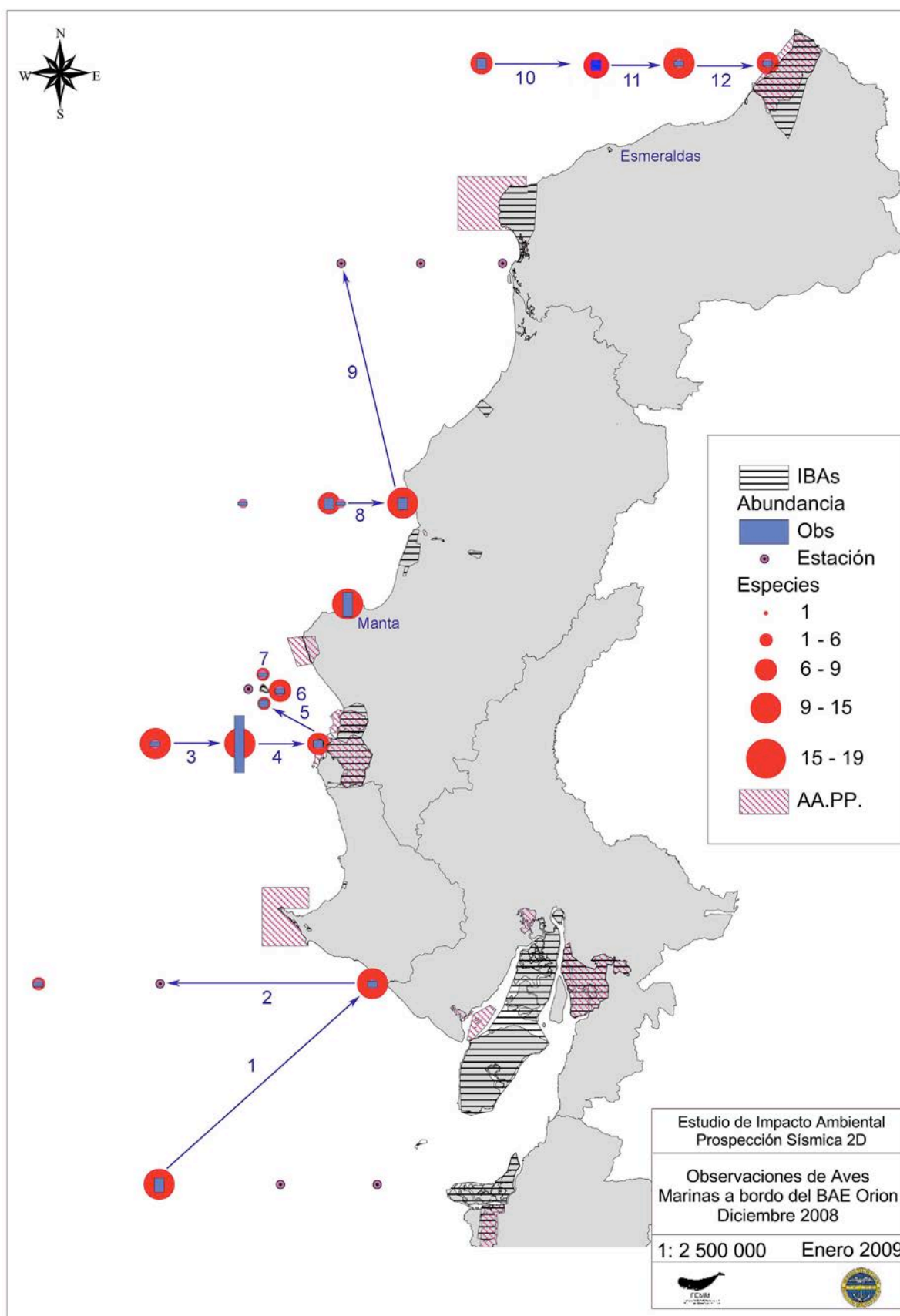


Figura 1. Diversidad de aves marinas y travesías.

Tabla 1. Lista de las especies de aves observadas durante el cruce de estudio entre 12 y 21 de diciembre de 2008.

Familia	Especie	Nombre común	No. Inds.	Composición Porcentual	AbundanciaO	currencia	Amenaza
Diomedidae	<i>Phoebastria irrorata</i>	Albatros de Galápagos	2	0,04	R	R	CR
Procellariidae	<i>Procellaria parkinsoni</i>	Petrel de Parkinson	8	0,16	PC	M ^T	VU
	<i>Puffinus creatopus</i>	Pardela Patirrosada	466	9,19	MC	M ^A	VU
	<i>Puffinus griseus</i>	Pardela Gris	756	14,91	MC	M ^T	NT
	<i>Puffinus subalaris</i>	Pardela de Galápagos	2	0,04	R	R	LC
Hydrobatidae	<i>Oceanodroma microsoma</i>	Paiño Menudo	3	0,06	R	M ^B	-
	<i>Oceanodroma tethys</i>	Paiño Danzarín	2	0,04	R	R	LC
	<i>Oceanodroma cf. melania</i>	Paiño Negro	1	0,02	X	M ^B	LC
Phaethontidae	<i>Phaethon aethereus</i>	Rabijunco Piquirrojo	6	0,12	R	R	-
Pelecanidae	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelicano Pardo	340	6,70	C	R	LC
	<i>Pelecanus thagus</i>	Pelicano Peruano	2	0,04	R	M ^A	NT
Sulidae	<i>Sula nebouxii</i>	Piquero Patiazul	730	14,39	MC	R	LC
	<i>Sula variegata</i>	Piquero Peruano	2	0,04	R	M ^A	LC
	<i>Sula granti</i>	Piquero de Nazca	21	0,41	PC	R	LC
	<i>Sula sula</i>	Piquero Patirrojo	1	0,02	X	R	LC
	<i>Sula leucogaster</i>	Piquero Pardo	1	0,02	X	A	LC
Fregatidae	<i>Fregata magnificens</i>	Fragata Magnífica	839	16,54	MC	R	LC
Stercorariidae	<i>Stercorarius pomarinus</i>	Págalo Pomarino	6	0,12	R	M ^B	LC
	<i>Stercorarius parasiticus</i>	Págalo Parasítico	7	0,14	R	M ^B	LC
Laridae	<i>Larus atricilla</i>	Gaviota Reidora	1287	25,37	A	M ^B	LC
	<i>Larus pipixcan</i>	Gaviota de Franklin	44	0,87	PC	M ^B	LC
	<i>Xema sabini</i>	Gaviota de Sabine	278	5,48	C	M ^B	LC
	<i>Chlidonias niger</i>	Gaviotín Negro	20	0,39	PC	M ^B	LC
	<i>Sterna hirundo</i>	Gaviotín Común	3	0,06	R	M ^B	LC
	<i>Sterna maxima</i>	Gaviotín Real	31	0,61	PC	M ^B	LC
	<i>Sterna elegans</i>	Gaviotín Elegante	59	1,16	C	M ^B	NT
Scolopacidae	<i>Phalaropus sp.</i>	Falaropos no identificados	89	1,75	PC	M ^B	LC
Total individuos registrados			5072				

Categorías de abundancia: A = abundante, MC = muy común, C = común, PC = poco común, R = raro, X = incierto.

Categorías de ocurrencia: R = residente, M^B = migratorio boreal, M^A = migratorio austral, M^T = migratorio transoceánico, A = accidental

Categorías de amenaza: CR = peligro crítico, VU = vulnerable, EN = amenazado, NT = casi amenazado, LC = preocupación menor

Tabla 2. Densidades de las especies seleccionadas en cada una de las travesías recorridas durante el cruce de investigación.

Nombre científico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Sula neboxii</i>	0.022	0.126	0.040	8.737	2.825	0.843	1.254	0.089	0.004	-	-	-	0.002
<i>Fregata magnificens</i>	0.086	0.142	0.106	11.331	0.188	0.094	0.045	0.157	0.309	0.065	0.133	0.215	0.147
<i>Puffinus creatopus</i>	0.026	0.042	0.027	0.024	-	0.094	0.134	0.034	0.253	1.161	0.044	0.255	0.397
<i>Puffinus griseus</i>	0.060	0.100	0.559	0.343	0.165	0.469	0.896	0.451	0.343	0.622	0.309	0.176	0.202
<i>Larus atricilla</i>	0.592	0.279	0.799	10.989	0.494	1.125	0.090	0.895	0.120	0.241	0.398	0.920	0.268

Registros importantes

Albatros de Galápagos, *Phoebastria irrorata*

Se observaron dos individuos durante este estudio. Ambas observaciones se realizaron en el mismo día 13 de Diciembre de 2008. El primer individuo fue observado nadando en la superficie del agua a un poco más de 200 m de distancia junto a otras aves, tres individuos de *Procellaria parkinsoni* (Petrel de Parkinson), dos individuos de *Larus atricilla* (Gaviota Reidora) y seis falaropos a las 11h15 de un día soleado. El segundo individuo fue observado durante el crepúsculo entre las 17h30 y 18h30 por Ben Haase. Es difícil decir con certeza si estos individuos provienen de la isla de La Plata, lo más probable es que esto no sea así ya que la población en isla de La Plata es muy reducida en comparación con la población reproductiva de las islas Galápagos, específicamente isla Española, el único lugar donde se reproduce en el mundo (Harrison 1983).

La situación de la población reproductiva del Albatros de Galápagos en la isla de La Plata no es favorable porque la colonia es muy reducida y no se observa incremento poblacional. El primer registro sobre la presencia del Albatros de Galapagos en isla de La Plata proviene de R. Murphy quien reportó un espécimen muerto recogido por el custodio del faro de la isla en noviembre de 1924 (Ortiz-Crespo & Agnew 1992). Más evidencias sobre una colonia reproductiva fueron recogidas por O. Owre en base a conversaciones con colonos y visitantes a comienzos de los años 60 (Ortiz-Crespo & Agnew 1992). O. Owre personalmente llegó a descubrir y luego a describir por primera vez, al menos 5 nidos encontrados en el área de Punta Machete en mayo de 1975 (Ridgely & Greenfield 2001). En el año 1990, Ortiz-Crespo & Agnew (1992) registraron 22 adultos (10 eran parejas) y 6 juveniles en Punta Machete. Mientras que durante la expedición realizada por R. Ridgely & F. Sornoza en julio de 1993, se contabilizó solo tres nidos (Ridgely & Greenfield 2001). No existen datos actuales sobre el número de individuos reproduciéndose en la isla de La Plata, sin embargo se conoce que las aves nidifican en el área de Punta Machete y que la población fluctuaría entre 1 a 15 parejas (Cisneros-Heredia 2005), aunque estimaciones más optimistas indicarían entre 10 –

50 parejas (Enticott & Tipling 1997 en Ridgely & Greenfield 2001).

El Albatros de Galápagos se distribuye exclusivamente en las aguas tropicales ecuatoriales (Harrison 1983). Esta ave marina se reproduce principalmente en la isla Española, archipiélago de las Galápagos, entre Marzo y Octubre de cada año (Agreda obs. pers.) y alcanza a distribuirse hasta el norte de Perú fuera de la época reproductiva (Birdlife international 2008). El Albatros de Galápagos es una especie que se encuentra en peligro crítico de extinción (CR) por su rango de distribución tan restringido y, actualmente enfrenta la presión de la pesca incidental en palangre en las costas de Perú (Jiménez-Uzcátegui et al. 2006, Birdlife International 2008).

Pardela Patirosada, *Puffinus creatopus*

Este migrante austral se reproduce en las islas Mocha y Juan Fernández de Chile y sus individuos se dispersan hacia el norte por la costa del Pacífico hasta Alaska (Harrison 1983), en su recorrido alcanzan las aguas ecuatoriales tropicales de allí que lo veamos con relativa frecuencia en el Ecuador fuera de su época reproductiva. Dentro de esta expedición fue considerada un ave común con más de 450 individuos observados volando en su ruta migratoria al sur. La Pardela Patirosada presenta un plumaje dorsal de color gris que contrasta con una barbilla, garganta y vientre blancos, por debajo de las alas se distinguen claramente el borde gris y la banda central de color blanco plateado. Los tarsos son rosado pálido y su pico es color beige pálido con la punta oscura. Esta especie es considerada vulnerable y se encuentra amenazada de extinción principalmente por la destrucción del habitat de anidación, presencia de animales introducidos y se cree que la pesca incidental podría ser una amenaza potencial importante (Birdlife International 2008).

Pardela Gris, *Puffinus griseus*

Este migrante transecuatorial tiene una amplia distribución mundial, sus colonias reproductivas se encuentran al sur oriente de Australia principalmente en Nueva Zelanda y también nidifica en algunas islas al sur de Chile (Harrison 1983). En este estudio la Pardela Gris fue una de las especies más numerosas, llegando a contabilizar un total de 756 individuos. Se la observó cada día en números altos, viajando en grupos

pequeños poco compactos de dos, tres y hasta 32 individuos. En algunas ocasiones se registraron grupos numerosos nadando en la superficie del mar. Esta es una especie considerada común e inclusive muy común en aguas ecuatorianas durante los períodos de migración. Se encuentra casi amenazada de extinción por causas varias, tales como predación a sus nidos por parte de colonos, presencia de especies invasivas, pesca incidental en palangre y también se habla de que el cambio climático podría producir las fluctuaciones poblacionales observadas (Birdlife International 2008).

Pardela de Galápagos, *Puffinus subalaris*

Esta es una especie residente que se reproduce únicamente en las islas Galápagos y cuya población reproductiva se calcula en alrededor de 10.000 pares (Swash & Still 2005). Por la frecuencia en la que esta especie es observada es probable que sea más común en aguas continentales fuera de la época de reproducción de lo que se cree (B. Haase pers.com.). Es posible que la falta de viajes pelágicos mantengan a esta especie poco conocida. Dos individuos fueron observado por Ben Haase el 17 de diciembre de 2008 durante la travesía de retorno de Esmeraldas a Manta. Las aves fueron registradas frente a las costas de la provincia de Esmeraldas.

Petrel de Parkinson, *Procellaria parkinsoni*

Este migrante transecuatorial anida en Nueva Zelanda al occidente del océano Pacífico y cruza longitudinalmente el océano para alcanzar las aguas tropicales del Pacífico oriental (Harrison 1983). Esta fue una especie poco común durante el crucero de la cual se realizaron solamente ocho registros. Es una especie difícil de confundir debido a su plumaje oscuro homogéneo y su forma de volar típica, planeando con las alas extendidas ligeramente arqueadas sobre la superficie del mar. Su pico es muy distintivo porque es de color gris plateado. Sus poblaciones se encuentran amenazadas de extinción sobretodo debido a la presencia de especies invasivas en colonias reproductivas, pero también se cree que puede estar en peligro debido a la amenaza de la pesca incidental en palangre durante su estadia de invierno en aguas del Pacífico oriental, actualmente es considerada dentro de la categoría de vulnerable (Birdlife International 2008).

Paiño Danzarín, *Oceanodroma tethys*

La subespecie *tethys* se reproduce en las islas Galápagos donde sus poblaciones se estiman en alrededor de 200.000 pares concentrados en tres grandes colonias: San Cristóbal, Genovesa y Roca Redonda (Swash & Still 2005). También existen poblaciones reproductivas de la subespecie *kelsalli* anidando en islas oceánicas frente a la costa central de Perú y una pequeña población anidando en una isla al norte de Chile (Simeone et al. 2003, Ayala et al. 2008). Ambas subespecies se dispersan hacia las costas de Ecuador fuera de su época reproductiva. Durante este estudio fue considerada una especie rara y solo se la observó dos veces. El 13 de Diciembre de 2008 se observó un individuo muy cerca de la embarcación a las 06h42 durante una mañana nublada con viento y la segunda ocasión el día 15 de Diciembre de 2008 se registró otro individuo a 200 m de la embarcación y a c. 16 km de las costas al norte de la provincia de Manabí.

Piquero Pardo, *Sula leucogaster*

El día 16 de Diciembre de 2008 entre las 06h40 y 07h00 de un día completamente nublado, se observó un adulto de Piquero Pardo sobrevolando la embarcación 200 m a babor y a 57.4 km al norte de Punta Galeras en la provincia de Esmeraldas. El ave fue registrada claramente por todos los observadores. El individuo presentó partes desnudas de color amarillo, su plumaje pardo homogéneo contrastó marcadamente con su pecho y vientre blancos. Sus tarsos también amarillos y cola graduada del mismo color que el resto del plumaje dorsal.

Esta es una especie pelágica considerada hipotética para el Ecuador según Ridgely & Greenfield (2001) y Freile (2008). Cisneros-Heredia (2005) publicó sobre el registro de un individuo de esta especie observado entre 4 y 5 de junio de 2005 a c. 4 km de la isla de La Plata. El Piquero Pardo fue finalmente fotografiado en la isla de La Plata por J.M. Carrión en 2008 (J. Freile com. pers.). Actualmente ya no se considera que esta especie es hipotética en la lista de aves de Ecuador. El Piquero Pardo es una especie pantropical, es decir que habita las aguas tropicales en todos los océanos del mundo. En el océano Pacífico oriental se distribuye principalmente frente a las costas de Norte y Centroamérica desde la península de California hasta Panamá y llega hasta Colombia

(Harrison 1983). Murphy (1936) escribe sobre la distribución restringida de la subespecie *etesiacae* a una zona muy húmeda del Pacífico oriental, donde el límite más extremo sur es el cabo San Francisco en el norte de Ecuador y el norte no estuvo bien conocido pero se extendía seguramente hasta las costas de México. Sin embargo, Murphy (1936) no hace referencia a ninguna observación de esta ave en los mares ecuatorianos, sino que escribe sobre la nidificación en las islas colombianas de Tumaco y Gorgona. El Piquero Pardo ha llegado a alcanzar inclusive las costas de Perú, el 31 de Septiembre de 2001, un adulto fue fotografiado en la isla Huampanú a 19.3 km de la costa de Perú (Valverde 2007).

Las poblaciones globales de esta especie se estiman en 200.000 individuos y no alcanzan el umbral de extinción (< 10.000 con una declinación poblacional $> 10\%$ en la última década) por lo tanto la especie no se encuentra amenazada (Birdlife International 2008).

Gaviotín Elegante, *Sterna elegans*

Este es un migrante boreal transitorio por las aguas oceánicas ecuatoriales. Las colonias de nidificación están en la península de California y norte de México y la migración post-reproductiva la realiza hacia el sur alcanzando las costas de Ecuador, Perú y Chile entre Agosto y Septiembre (Harrison 1983). Dentro de nuestra expedición contabilizamos un total de 59 individuos, diariamente se registraron entre 2 y 24 individuos. El Gaviotín Elegante está presente todo el año en números variables, siendo más numeroso durante la migración activa. Inmaduros han sido observados durante el verano boreal frente a las costas de la península de Sta. Elena (Haase obs. pers.). El Gaviotín Elegante es una especie casi amenazada por ser vulnerable a presiones antropogénicas tales como la competencia por alimento y climáticas tales como El Niño, dentro de su limitado rango de distribución y reproducción (Birdlife International 2008).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La diversidad de aves en Ecuador es muy alta, sin embargo el grupo de las aves marinas representa apenas 5.3% (84 spp.) de las 1583 especies evidenciadas en Ecuador (Freile 2008).

La diversidad de aves marinas ha sido poco estudiada en las aguas continentales ecuatorianas. Esto se debe principalmente al costo de los viajes pelágicos y también al esfuerzo en terminos de tiempo y gente capacitada en la identificación de este grupo de aves. Los compendios más extensos sobre aves marinas del Pacífico oriental incluidas las aguas ecuatorianas, provienen de Murphy (1936) y Ridgely & Greenfield (2001), y también cabe mencionar el trabajo de King (1974) sobre aves del orden Procelariiformes.

Es importante recalcar que la mayor parte del conocimiento en Ecuador proviene del estudio poblacional de colonias reproductivas (Ortiz-Crespo & Agnew 1992, Cisneros-Heredia 2005, Valle 1997, Suárez & Calle 2005). Este estudio reconoce 26 (31%) especies residentes, 24 (28.6%) migratorias y 19 (22.6%) ocasionales, lo que quiere decir que se distribuyen en otras regiones del Pacífico oriental hacia el norte o al sur y que eventualmente ocurren en aguas continentales ecuatorianas. Freile (2008) reconoce 13 especies de aves marinas hipotéticas, es decir que no han logrado ser evidenciadas en nuestro territorio. Sin embargo este numero se reduce a 11 ya que dos de ellas, *Sula leucogaster* y *Stercorarius longicaudus* han logrado ser evidenciadas mediante fotografías o especímenes en Ecuador (J. Freile pers. com., B. Haase 2009). Es muy probable que aquellas especies que consideramos ocasionales en nuestros mares presentan información deficiente y podrían estar pobremente registradas por falta de estudios. Por otro lado la estacionalidad en los registros de aves migratorias boreales y australes vuelve mas difícil la detección y determinación de su estatus en Ecuador. Sin embargo se reconoce que la mayor parte de las aves marinas migratorias registradas en Ecuador son transitorias.

En esta investigación se registraron 17 especies de aves marinas migratorias transitorias, algunas de ellas *Larus atricilla*, *Puffinus griseus* y *P. creatopus* fueron registradas en grandes números migrando activamente hacia el sur. En el caso de las especies de gaviotas y gaviotines migratorios (ver Tabla 1), estas son especies que pasan el invierno boreal en las costas de Perú y Chile, y son registradas frente a las costas de Ecuador y Perú entre Julio y Diciembre durante la migración de invierno y entre Febrero y Abril durante la migración reproductiva cuando las aves retornan a sus áreas

de nidificación en el hemisferio norte (Harrison 1983, Duffy 1981).

Las pardelas *P. creatopus* y *P. griseus* también migran hacia el sur para reproducirse durante el verano austral. Esta es la razón de los números altos que registramos en esta investigación. Ambas especies tienen colonias reproductivas al sur de Chile. *P. creatopus* se reproduce principalmente en las islas oceánicas de Juan Fernandez y Mocha donde llegan a anidar en Diciembre y Enero de cada año (Harper & Kinsky 1978). Mientras tanto *P. griseus* tiene colonias reproductivas en las islas Malvinas, estrecho de Magallanes y cabo de Hornos, la localidad más extrema del hemisferio sur en la Patagonia (Harper & Kinsky 1978, Harrison 1983, Schlatter & Simeone 1999). Algunos autores describen justamente la migración activa de *P. griseus* frente a las costas de Ecuador y Perú que ocurre desde mediados de Octubre hasta finales de Noviembre en números mayores a 10.0000 individuos por conteo (Duffy 1981, Harrison 1983). Es muy probable que la falta de estudios pelágicos no nos permitan conocer mejor el estado poblacional de muchas especies que clasificamos como ocasionales, y que posiblemente se encuentran mejor representadas.

Otro grupo importante de aves marinas lo conforman las especies residentes que en este estudio contabilizan un total de nueve especies entre las cuales las más numerosas fueron *Fregata magnificens* y *Sula neboxii*. Todas las especies residentes se distribuyen en aguas cálidas tropicales, mantienen colonias de nidificación en Ecuador y no llegan a registrarse en números importantes más al sur del norte de Perú. De esta manera las aguas continentales ecuatorianas son una zona de transición de corrientes marinas cálidas y frías, lo que también influye sobre la diversidad de aves marinas que también sufre un recambio en esta zona, ya que más al sur son reemplazadas por las especies de la zona de la corriente fría de Humboldt.

Conservación de sitios claves para aves marinas en Ecuador continental

Dentro del área de estudio se localizan dos zonas protegidas con colonias reproductivas de aves marinas: islas de La Plata y Santa Clara, ambas consideradas como Áreas de Importancia para las Aves (IBA, por sus siglas en inglés).

La isla de La Plata está ubicada a casi 30 km de la costa sur de Manabí dentro del Parque Nacional Machalilla, establecido mediante Acuerdo Interministerial No. 322 en Julio de 1979. En isla de La Plata se han registrado alrededor de 70 especies de aves, muchas de ellas marinas (Birdlife International 2009). Esta isla es de gran importancia porque sostiene poblaciones reproductivas de: *P. irrorata*, *Sula neboxii*, *S. sula*, *S. granti*, *Fregata magnificens* y *Phaeton aethereus* lo que la convierte en una zona importante para la conservación de la biodiversidad en Ecuador. La isla de la Plata está dentro del Área de Endemismo de Aves Tumbesina (EBA 045) y fue declarada Humedal Ramsar en 1990 (Birdlife International 2009).

En el sur del mar territorial ecuatoriano a unos 43 km al oeste de Puerto Bolívar, provincia de El Oro, se encuentra la isla Santa Clara declarada Refugio de Vida Silvestre mediante Acuerdo Ministerial No. 83 de 1999, otorgándole calidad de área protegida a su superficie (5 ha) y zona intermareal. Su importancia radica en que aloja las colonias reproductivas más grandes en Ecuador continental de: *Pelecanus occidentalis*, *F. magnificens* y *Sula neboxii*. Las especies que habitan Santa Clara dependen directamente de los afloramientos adyacentes a la isla y cualquier perturbación cercana podría impactar negativamente su situación.

En relación a la importancia de estos sitios claves para la reproducción de aves marinas cabe mencionar el caso de dos especies en particular: *Sula neboxii* y *Fregata magnificens*. El primero es una especie endémica de las aguas tropicales del océano Pacífico con una amplia distribución desde la península de California hasta el norte de Perú (Harrison 1983). Sin embargo estas aves anidan en el suelo razón por la cual su habitat reproductivo es muy restringido a islas e islotes cubiertos de poca cubierta vegetal o por vegetación xerofítica y no nidifica en las regiones costeras húmedas (Murphy 1936). Las colonias reproductivas que cuentan con los números más elevados de Piqueros Patas Azules convienen con estas características, entre ellas encontramos a la isla de La Plata, Sta. Clara, El Pelado y la colonia más sureña está en Lobos de Afuera a c. 7°S frente a las costas de Perú (Murphy 1936, Harrison 1983, Valle 2007).

El Piquero Patas Azules es una especie común en las costas continentales de Ecuador y Galápagos (Ridgely & Greenfield 2001, Swash & Still 2005). El número más alto contabilizado para esta especie en aguas continentales ecuatorianas es de 14.000 individuos en isla Sta. Clara (Valle 1997). Esta isla es uno de los refugios más importantes para aves marinas en Ecuador por lo que sus poblaciones han sido monitoreadas casi cada año entre 1997 y 2005 (Valle 1997, Suárez & Calle 2005). Los estudios poblacionales indican que las poblaciones de *Pelecanus occidentalis*, *Fregata magnificens* y *Sula nebulosus* se encuentran estables dentro del rango estimado de los 15.000 hasta 19.000 individuos. Sin embargo, *Sula nebulosus* ha sufrido una reducción del 47% entre 2003 y 2005 (Suárez & Calle 2005). Dicha reducción está relacionada con la extracción de guano reportada recientemente como una potencial amenaza (Suárez & Calle 2005). Estos resultados indican una reducción importante en la población de un ave marina lo que implica que existe la necesidad de realizar estudios puntuales sobre esta amenaza en isla Sta. Clara.

Otra ave marina costera abundante es *Fregata magnificens*, sus poblaciones reproductivas son muy numerosas en Ecuador continental y no se restringen solamente a las islas Santa Clara y La Plata, ya que existen colonias muy grandes en áreas de manglar dentro del estuario del río Chone y en el Golfo de Guayaquil. Las islas estuarinas del río Chone albergan el Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón e Isla Frigate que con sus 700 ha protege una de las colonias más importantes de esta especie en la costa ecuatoriana. Otra área importante son las islas Manglecito que forman parte del Refugio de Vida Silvestre Manglares El Morro, las estimaciones poblacionales de *F. magnificens* indican que alrededor de 6.000 aves nidifican en estos manglares (P. Jiménez com. pers.). En isla Sta. Clara, los censos realizados entre 1997 y 2005 registran un incremento del tamaño poblacional del 60% contabilizándose hasta 2005 un número de 8.000 aves (Suárez & Calle 2005). Mientras tanto, en isla de La Plata los estudios registran una colonia reproductiva más pequeña que fluctúa entre 1.300 hasta 2.500 aves (Ortiz-Crespo & Agnew 1992, Albuja & Muñoz 1997 en Cisneros-Heredia 2005).

Los estudios poblacionales de aves marinas son importantes para reconocer las fluctuaciones en las abundancias, entender las razones de estas fluctuaciones, identificar potenciales amenazas a las poblaciones de aves marinas residentes y conocer mejor el estado de conservación de las especies en Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta publicación queremos expresar un especial agradecimiento a los señores directores del Instituto Oceanográfico de la Armada Nacional que apoyaron la realización de este estudio. También queremos agradecer a Gustavo Iturralde por su colaboración en la elaboración de los mapas de la fauna marina presentadas en nuestra investigación. Este estudio avifaunístico es parte de las investigaciones de la Fundación Ecuatoriana para el Estudio de Mamíferos Marinos (FEMM) dentro del componente biótico del estudio de impacto y plan de manejo ambiental para la prospección sísmica 2D realizado por la Armada Nacional dentro del proyecto de Investigación Geofísica de la Plataforma Continental de Ecuador e incluye una investigación más amplia de mamíferos, reptiles y aves marinas.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D., 1989. Differential responses of boobies and other seabirds in the Galápagos to the 1986 – 87 El Niño-Southern Oscillation event. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* vol. 52: 209-219.
- Ainley, D., Carter, H., Anderson, D., Briggs, K., Coulter, M., Cruz, F., Cruz, J., Valle, C., Fefer, S., Hatch, S., Schreiber, E., Schreiber, R. and N. Smith, 1990. Effects of the 1982 – 83 El Niño – Southern Oscillation on Pacific Ocean Bird Populations. In *Acta XIX Congressus Internationalis Ornithologici*, vol. 2: 1747-1758. ACO. Ottawa. Canada.
- Ayala, L., Sánchez-Scaglioni, R., Amorós S. and L. Felipe, 2008. A breeding colony of Wedge-rumped Storm-Petrel *Oceanodroma tethys kelsalli* (Lowe 1925) on Santa Island Perú. *Rev. Per. Biol.* 15(1): 117-120.
- BirdLife International, 2008. *Threatened birds of the world 2008 CD-ROM*. Lynx Ediciones, Barcelona and Cambridge, UK.

- BirdLife International, (2009).** *Important Bird Area factsheet: Parque Nacional Machalilla, Ecuador.* Data Zone at <http://www.birdlife.org> [Consulta 30/9/2009]
- Cisneros-Heredia, D., 2005.** *La avifauna de la Isla de la Plata, Parque Nacional Machalilla, con notas sobre nuevos registros.* *Cotinga* 24: 22-27.
- Clarke, R., Félix F., Paliza O. & P. Brtnik, 2002.** *Ballenas y delfines observados por la expedición BALLENAS LIBRES durante el crucero oceanográfico CO-II-01 entre Guayaquil y las Islas Galápagos del 17 de septiembre al 9 de octubre 2001.* *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador*, 11(1): 315-325.
- Delgado, G., 2008.** *Las Aves Marinas.* http://www.vierayclavijo.org/html/paginas/cursos/cursos_2007/0702_chinijo/cuadernillo/ch_0702_16.html [Consulta 29/09/2009]
- Duffy, D., 1981.** *Seasonal changes in the seabird fauna of Perú.* *Ardea* 69: 109-113.
- Duffy, D., 1993.** *Stalking the southern oscillation: environmental uncertainty, climate change, and north Pacific seabirds.* En: Vermeer, K., Briggs, K., Morgan, K. and D. Siegel-Causey (eds.). *The status, ecology and conservation of marine birds of the North Pacific.* *Can. Wildl. Serv. Spec. Publ.*, Ottawa, Canada.
- Furness, R. and P. Monaghan, 1987.** *Seabird ecology.* Blackie and Son Press. London, UK.
- Freile, J., 2008.** *Species lists of birds for South American countries and territories: [Ecuador].* <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCCountryLists.html> [Consulta 29/09/2009].
- Harper, P. and F. Kinsky, 1978.** *Southern albatrosses and petrels: an identification guide.* Victoria University Press, UK p: 114.
- Harrison, P., 1983.** *Seabirds, an identification guide.* Houghton Mifflin Press. Boston, Massachusetts, U.S. p: 448.
- Haase, B., 2009.** *Primer registro confirmado del Salteador Colilargo *Stercorarius longicaudus* en Ecuador continental.* Poster presentado en la II Reunión Ecuatoriana de Ornitología, Guayaquil 26-28 de agosto de 2009.
- Jahnke, J., Checkley, D., and G. Hunt, 2004.** *Trends in carbon flux to seabirds in the peruvian upwelling system: effects of wind and fisheries on population regulation.* *Fish. Oceanogr.* 13: 208-223.
- Jimenez-Uzcategui, G., Mangel, J., Alfaro – Shigueto R., and D. Anderson, 2006.** *Fishery bycatch of the Waved Albatros *Phoebastria irrorata*, a need for implementation of agreements.* *Galapagos Research* 64: 7-9.
- Kress, S., 1998.** *Applying research for effective management: case studies in seabird restoration.* In: Marzluff J. and R. Sallabanks (eds.) *Avian Conservation: research and management.* Chapter 10 p: 141-154. Island Press, Washington D.C., US. p: 563.
- King, W., 1974 (ed.).** *Pelagic studies of seabirds in the central and eastern Pacific ocean.* *Smithsonian Contr. Zool.* Vol. 158, p.: 277.
- Murphy, R., 1936.** *Oceanic birds of South America.* Mac Millan Press, New York, US. vol. 2
- Neves, T. and F. Olmos, 1998.** *Albatros mortality in fisheries off the coast of Brazil.* In: Robertson, G. and R. Gales (eds.). *Albatros biology and conservation.* Surrey Beatty and Sons: Chipping Norton. Chapter 17: 214-129.
- Nixon, S. and A. Thomas, 2001.** *On the size of the Perú upwelling ecosystem.* *Deep-Sea Research* 48: 2521-2528.
- Okuda, T., Valencia, M. y R. Trejos, 1983.** *Nutrientes en las aguas superficiales y subsuperficiales en el área frente al Ecuador.* *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR (Ecuador)* 2(1): 31-51.
- Ortiz-Crespo, F. I. and P. Agnew, 1992.** *The birds of La Plata Island, Ecuador.* *Bull. Brit. Orn. Club* 112: 66-73.
- Remsen, J., Cadena, C., Jaramillo, A., Nores, M., Pacheco, J., Robbins, M., Schulenberg, T., Stiles, F., Stotz, D. and K. Zimmer, 2009.** *A classification of the bird species of South America.* *American Ornithologists' Union.* <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html> [Consulta 29/09/2009].
- Ridgely, R. and P. Greenfield, 2001.** *The Birds of Ecuador, Status, Distribution and Taxonomy.* Vol. I. Cornell University Press. p: 848.

Rodríguez, A., 1990. *Características químicas de las aguas marinas ecuatorianas durante 1988.* Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR (Ecuador) 6 (1): 41–57.

Schlatter, R. and A. Simeone, 1999. *Estado del conocimiento y conservación de las aves en mares Chilenos.* Estudios Oceanográficos 18: 25–33.

Simeone, A., Luna-Jorquera, G., Bernal, M., Garthe, S., Sepulveda, F., Villablanca, R., Ellenberg, U., Contreras, M., Muñoz J. y T. Ponce, 2003. *Breeding distribution and abundance of seabirds on islands off north central Chile.* Revista Chilena de Historia Natural 76: 323–333.

Suárez, H. y M. Calle, 2005. *Monitoreo del Estado Poblacional y Reproductivo de Aves Marinas en el Refugio de Vida Silvestre Isla Santa Clara (RVS-ISCLA) julio 2005.* Informe de Consultoría preparado para Machala Power Ltd. – Energy Development Corporation (EDC) Ltd. Revisión técnica: Karina González. Guayaquil – Ecuador, p: 15.

Swash, A. and R. Still, 2005. *Birds, mammals and reptiles of the Galapagos Islands.* Pica Press and Wild Guides. London, UK p: 165.

Tasker, M., Camphuysen, C., Cooper, J., Garthe, S., Montevecchi, W. and S. Blaber, 2000. *The impacts of fishing on marine birds.* Journal of Marine Sciences 57: 531–547.

Valverde, M., 2007. *Registro del Piquero Pardo Sula leucogaster en una isla del Perú.* Biologist (Lima) vol. 5 (2): 65–67

Valle, C., 1997. *Isla Santa Clara: Estudio del Ambiente Terrestre y Establecimiento de un Sistema de Monitoreo de las Colonias de Aves Marinas.* Informe final interno del MMA.

Zink, R., 1981. *Observations of seabirds during a cruise from Ross island to Anvers island, Antarctica.* Wilson Bulletin vol. 93 (1): 1–20.

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ECUADOR Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON LA PLATAFORMA JURÍDICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Martillo C.¹⁻²
 Pazmiño A.¹
 Chunga, K.²⁻³
 Resl. R.⁴

Resumen

El presente estudio realiza un análisis morfoestructural de las plataformas que están en el Territorio Marítimo ecuatoriano: (1) La Plataforma de las Islas Galápagos que es producto de la interacción entre el Punto Caliente de Galápagos y el Centro de Divergencia de Galápagos, y (2) La plataforma continental del Ecuador continental localizada en un margen activo convergente entre la placa oceánica de Nazca y los segmentos continental de la placa Sudamericana y del Bloque Norandino.

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Modelos Digitales de Terreno (MDT), se caracterizó morfológicamente la proyección de la plataforma continental hacia el segmento marino, para luego realizar una confrontación entre el área que incluye la plataforma geológica con el área que se genera a partir de la aplicación del Art. 76 de la CONVEMAR, en donde se define la plataforma jurídica.

El análisis morfológico determinó que el Ecuador, tiene una plataforma geológica en su territorio continental con un ancho promedio de 54 MN (Millas Náuticas), teniendo su máxima extensión en el Golfo de Guayaquil con 95 MN. El área total en el segmento continental es de 38.000 km². La plataforma insular que se extiende direccionalmente a través de las cordilleras submarinas de Carnegie, Colón y Cocos, abarca un área de 627.820 Km².

Al generar las plataformas jurídicas a partir de las líneas de base que tiene el Ecuador, éstas abarcan un área de 237.038 Km² en el territorio continental comprendiendo la plataforma geológica, la fosa Ecuador y el sector Oriental de la Cordillera de Carnegie; y de 855.104 Km² en el territorio insular, incluyendo gran parte de la plataforma geológica insular, y algunos sectores de las cuencas oceánicas de Perú y Panamá. Al contrastar las áreas entre las plataformas geológicas con las plataformas jurídicas, se obtiene que el Ecuador se beneficiaría con la plataforma jurídica con un área de 426.322 Km².

Abstract

This study supplies useful morphostructural data for the whole Ecuadorian shelf: the Galapagos Island shelf is the result of ascending magmatic processes among the Galapagos Hotspot and the Galapagos Spreading Center, while Ecuadorian continental shelf is located in an active convergent boundary between the Nazca plate and the South American plate to southern continental site and the North Andean Block crustal segments to the northern continental site.

Using Geographic Information Systems (GIS) and Digital Terrain Models (DTM), we have been characterized morphologically the spreading out of the oceanic crust, and then, its relationship with the Galapagos spreading center and define the natural shelf in concordance to the Article 76 of the UNCLOS.

Morphological analyses in the whole continental Ecuadorian territory evidence a natural shelf to 54 MN of length, allow it maximum enlargement in the Guayaquil Gulf with length of 95 MN with an area of 38.000 Km²; furthermore the Insular shelf is long-drawn-out through the high bathymetrical Carnegie, Colon and Cocos ridges reach about 627.820 Km² in the area studied.

The Ecuadorian lawful shelves delineated from baselines, an addition, it reach about 237.038 Km² in the Ecuadorian territory that include the carry-over natural shelf, the Ecuadorian tectonic trench and the eastern parts of the high Carnegie, with an area of ca. 855.104 Km² for the Igneous Galapagos Province, includes part of the natural shelf and the Cocos, Colon and Carnegie ridge. An integration of contrasting research areas as the natural shelf with lawful shelf, it would allow the extension for Ecuadorian shelf in about 426.322 km².

¹Unidad Técnica de la Comisión Nacional sobre el Derecho del Mar (UTCNDM), Guayaquil, Ecuador.

²Centro de Investigaciones y Proyectos aplicados a las Ciencias de la Tierra. CIPAT - ESPOL

³Escuela de Petróleos. Universidad Estatal Península de Santa Elena, UPSE, Libertad, Ecuador.

⁴UNIGIS América Latina – Universidad San Francisco de Quito. Quito Ecuador

Introducción

La Plataforma continental comprende la prolongación natural submarina hasta el borde superior del talud continental; sin embargo la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) indica que la plataforma continental comprende el margen continental que está conformado por el lecho y el subsuelo de la plataforma, el talud y la emersión continental (Art. 76); esta se constituye en la Plataforma Continental Jurídica.

En Ecuador, las máximas profundidades a las que se encuentra la plataforma continental varían entre 100 y 300 metros bajo el nivel del mar; mientras que la topografía del talud presenta diferentes subdivisiones: superior, medio y bajo; no obstante, en algunos sectores, las subdivisiones pueden ser menores o mayores (Figura 6-8). Por otra parte el fondo abisal alcanza máximas profundidades entre 3.000 y 3.500 metros, bajo el nivel medio del mar; alcanzando valores máximos de 4.500 metros en la fosa oceánica continua al Golfo de Guayaquil.

La extensión promedio de la plataforma, en el borde occidental del continente sudamericano, está generalmente comprendida entre 40 y 50 Km, desde el borde exterior del margen continental hasta la línea de costa. En el Golfo de Guayaquil, la plataforma continental se extiende hasta aproximadamente 100 Km. Esta zona, junto a la plataforma continental de Trujillo – Pacasmayo (Perú) con una extensión de cerca 120 Km, son consideradas como las más amplias de la región.

Los resultados de varios estudios multidisciplinarios y una selección de datos morfológicos, batimétricos y topográficos procesados mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió visualizar de una manera muy clara y precisa los límites de la prolongación natural de los territorios continental e insular del Ecuador; hasta el borde exterior del margen continental, para luego confrontarlos con la plataforma jurídica, contemplada por la CONVEMAR en su Art. 76¹.

2. Tectónica activa y sus efectos sobre las plataformas continental e Insular

El territorio ecuatoriano ocupa en su totalidad una posición particular desde el punto de vista de la tectónica de placas por cuanto comprende: (1) el punto caliente de las Galápagos, (2) centro de divergencia que separa las placas de Cocos y Nazca, y (3) una zona de subducción a través de la cual la placa oceánica de Nazca subduce debajo del margen continental constituido de la placa Sudamericana y del Bloque Norandino.

La actividad del centro de divergencia determina, en parte, los movimientos relativos de las placas de Cocos y Nazca. La actividad de la dorsal genera una corteza oceánica de edad inferior a 23 Ma (millones de años) mucho más joven que la corteza oceánica predecesora de edad superior a 35 Ma (Hey, 1977); el centro de divergencia Galápagos genera corteza oceánica de un espesor medio de ~7 Km, mientras que el punto caliente de las Galápagos genera corteza oceánica de mayor espesor entre 18 y 22 Km (Hey, 1977; Gustcher et al., 1999; Toboada, 2000).

El punto caliente de las Galápagos ha formado una serie de altos relieves morfo-batimétricos sobre el fondo oceánico con trayectoria hacia los márgenes costeros del Pacífico oriental (ej. altos de Carnegie, Cocos, Colón y Malpelo) cuya arquitectura es principalmente controlada por la posición relativa dorsal-punto caliente y por los vectores de convergencia de las placas oceánicas (Sallares et al, 2008). Gran parte de estos relieves están siendo subducidos a lo largo de la fosa de Ecuador-Colombia y la Fosa Centro Americana.

La subducción de la Cordillera de Carnegie resulta en una importante modificación de la geología del Ecuador a partir del Plioceno superior – Pleistoceno inferior (5-2 Ma) (Lonsdale, 1978). Por ejemplo, la subducción de la Cordillera de Carnegie levanta el margen continental central de Ecuador y es probablemente la principal causa de las formaciones de las cadenas colinares costeras, que alcanzan una altitud máxima cercana a los 850 m.s.n.m.

¹Art. 76.- La Plataforma Continental comprende el lecho marino y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá del mar territorial del Estado Ribereño y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio hasta el borde exterior del margen continental o bien hasta una distancia de 200 millas marinas medidas a partir de las líneas de base, en caso de que el borde exterior del margen continental no llegue a esta distancia.

3. Estimación morfo-estructural de la prolongación natural de la Plataforma Insular.

Las islas Galápagos se encuentran localizadas sobre la placa Nazca alrededor de 250 Km al Sur de la dorsal de Galápagos. Las islas muestran un área inferior a 45.000 Km² y islas representan una de las regiones volcánicas más activas del mundo. Debido al movimiento ascendente de material magmático y su posterior expansión alrededor de la provincia ígnea de Galápagos constituida principalmente por material basáltico, es conocido como la plataforma de las islas Galápagos, la que se extiende en dirección Oeste alcanzando los 1.000 Km de longitud (alto o cordillera Carnegie). La edad del volcanismos de la provincia de Galápagos aumenta al Este, a medida que la placa de Nazca se acerca al margen continental de Ecuador.

Las islas occidentales, coincidentes con el punto caliente de las Galápagos, tienen una morfología de volcanes grandes de tipo escudo, caracterizados principalmente por calderas profundas. Los volcanes del Este son caracterizados por laderas suaves con elevaciones pequeñas. El volcanismo en estas zonas es el resultado de la acción del punto caliente, en cambio las islas norteñas de Wolf y Darwin, Pinta, Marchena y Genovesa se consideran como el resultado de la interacción del punto caliente y de la dorsal Galápagos (Gallardo & Tourkeridis, 2008).

Un análisis del modelo digital de terreno del fondo marino, generado a través de SIG (Figura 1), permite observar la continuidad morfológica existente entre las islas Galápagos y las cordilleras de Carnegie, Colón y Cocos.

Adicionalmente, se puede visualizar que la continuidad morfológica entre la plataforma de Galápagos y la Cordillera de Carnegie, constituye el límite entre las cuencas oceánicas de Panamá al Norte y de Perú, al Sur. Sin embargo, es evidente que en la parte central de la Cordillera de Carnegie, existe una depresión morfológica denominada "Saddle" (i.e. silla de montar; Figura 2).

Según el modelo geodinámico, la variación de la posición relativa entre el punto caliente y las dorsales de las Galápagos resulta en un mayor o menor aporte de material volcánico y por ende en una batimetría variable en las cordilleras submarinas y de las islas Galápagos (Sallares, 2008). Según ese modelo, la disminución de corteza existente en el Saddle (Figura 3) es consecuencia del salto del centro de divergencia al Sur del punto caliente; generando mayor aporte magmático a la cordillera de Cocos.

En el perfil de la Figura 3, se puede apreciar la diferencia de altura entre la cordillera de Carnegie y la Plataforma de Galápagos, como consecuencia del diferente aporte del material volcánico hacia estas, y debido al fenómeno de "isostasia", que

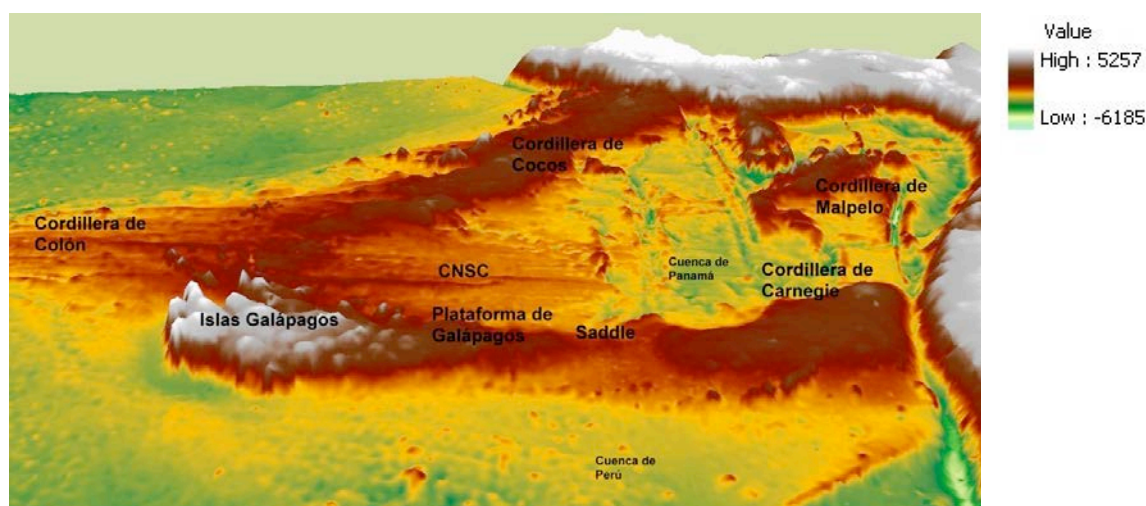


Figura 1.- Modelo Digital del Terreno (MDT) de la Provincia Volcánica de Galápagos. Las cordilleras de Carnegie, Malpelo, Cocos, Colón, Plataforma de Galápagos e Islas Galápagos se originan por la interacción entre el punto caliente de Galápagos (GHS) y la dorsal de Cocos-Nazca (CNSC) (Sallares, 2008).

con el tiempo, por efecto de la gravedad, la masa se asienta (Witt et al. 2008).

En consecuencia, Ecuador por el lado de las islas Galápagos, y en dirección de las cordilleras de

Carnegie, Colón y Cocos, tiene una plataforma natural muy amplia, pero al Oeste y al Sur de las Islas la plataforma continental es abrupta. La plataforma natural de las islas Galápagos abarca un área aproximada de 627.820 Km²

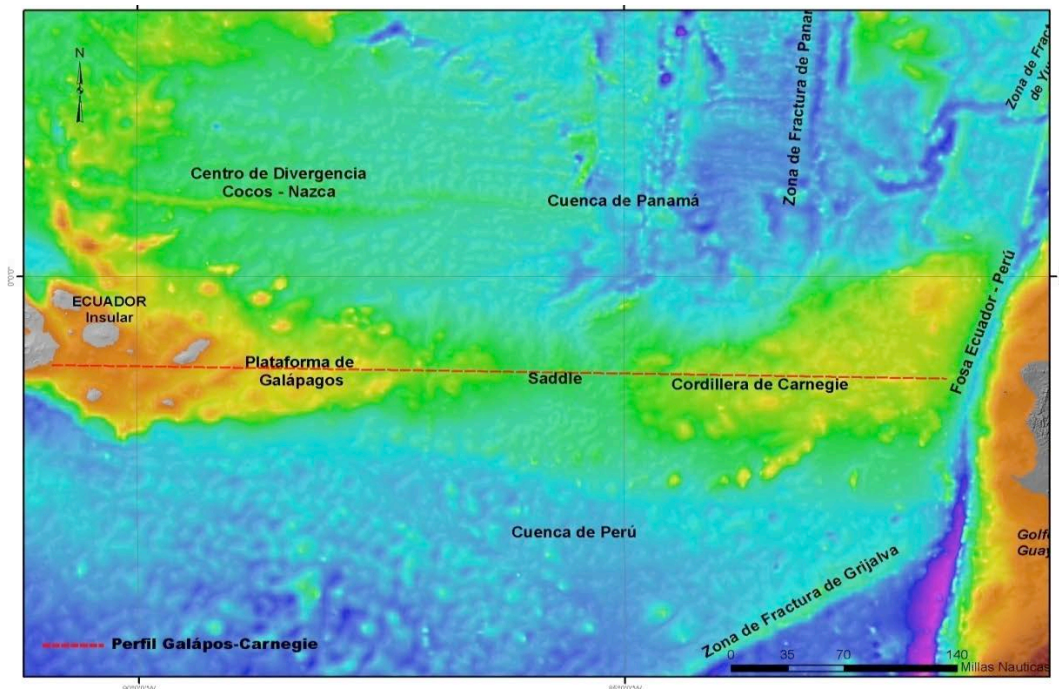


Figura 2.- Ubicación del perfil batimétrico Galápagos-Carnegie (línea roja punteada). La Plataforma Insular de Galápagos junto a la Cordillera de Carnegie se encuentran actualmente al Sur del Centro de Divergencia Cocos-Nazca (CNSC) y al Este del Punto Caliente de Galápagos (GHS). La Plataforma Insular de Galápagos se extiende sobre Carnegie, aproximadamente 1000 Km, hasta la fosa, pasando por una depresión central llamada “Saddle”.

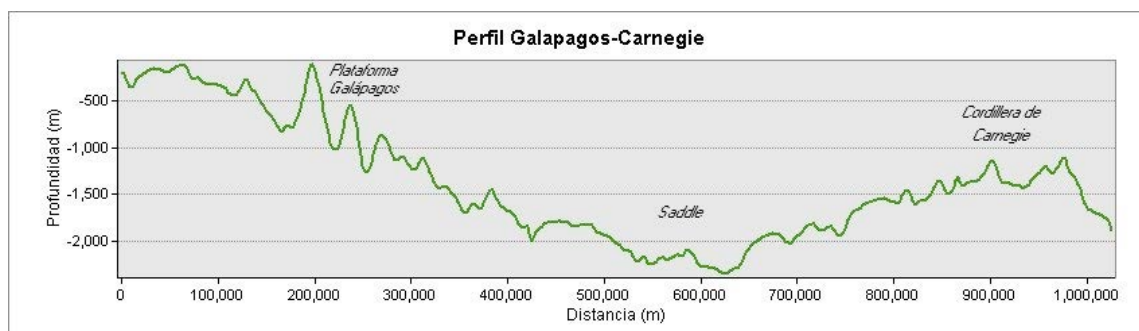


Figura 3.- Perfil longitudinal de la Plataforma Insular de Galápagos a lo largo de la Cordillera de Carnegie. Al Oeste del perfil se ubica la Plataforma Insular de Galápagos, al Este la Cordillera de Carnegie y en la parte central una depresión morfológica (Saddle). El Saddle es producto de la menor aportación de material magmático cuando se produjo el salto del centro de divergencia Cocos Nazca al Sur del punto caliente de Galápagos (Sallares, 2008).

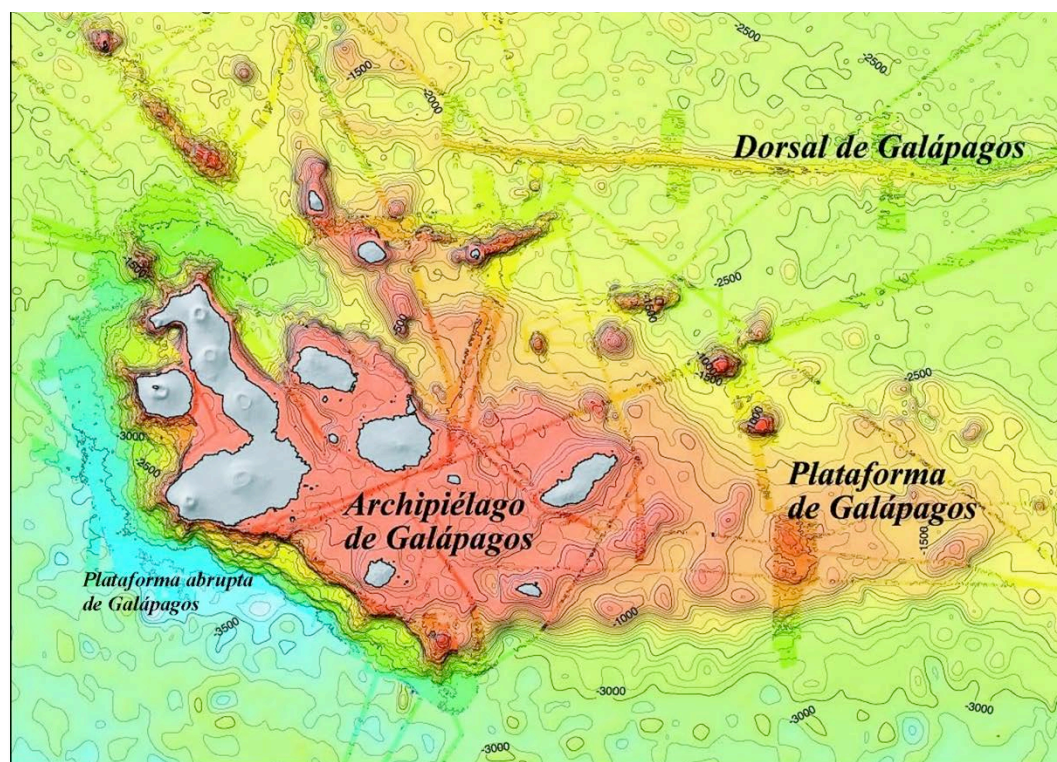


Figura 4.- MDT donde se muestra la diferencia de pendientes que existe alrededor de las Islas Galápagos. Al Este de las Islas la pendiente es muy suave y corresponde a la Plataforma Insular del Ecuador; al Oeste y al Sur de las islas la pendiente es muy abrupta, por lo que naturalmente el Ecuador Insular tiene plataforma continental sólo hacia el Este y Norte de las Islas Galápagos (Imagen de: Batimetría y Relieve Continental e Insular. INOCAR-IRD, 2006)

4. Estimación morfo-estructural de la prolongación natural de la Plataforma del territorio continental

Ecuador tiene una plataforma continental geológica muy angosta frente a sus costas continentales, debido a que se encuentra en la zona de convergencia de las placas tectónicas.

Por medio de análisis espacial de modelos raster², se estudió la plataforma continental, identificando que se encuentra entre la línea de costa y el borde del talud continental (entre los 0 msnm y los -1000 msnm), abarcando un área aproximada de 38000 Km².

La plataforma tiene un ancho variable de 20 Km en las zonas de costa saliente, tales como Punta Galera y Punta Santa Elena; 50 Km en las zonas de entrantes de la costa como Esmeraldas, Jama,

Monteverde; teniendo su máxima extensión en el sector del Golfo de Guayaquil donde alcanza los 100 Km (54 MN).

Para describir morfológicamente con mayor detalle la plataforma, se realizaron cuatro perfiles batimétricos: 1) al Norte de la ciudad de Esmeraldas, 2) en el sector de la población de Jama, 3) en el sector de Manglaralto y 4) en el Golfo de Guayaquil, al Norte del Archipiélago de Jambelí (Figura 5).

En el perfil 1 (Figura 6), frente a Esmeraldas, se puede apreciar que la plataforma continental es muy angosta y que prácticamente tiene un ancho de aproximadamente 10 Km.

El perfil 2 (Figura 7), que se encuentra frente al sector de Jama, muestra una plataforma de pendiente con una extensión de 40 Km. En este

²Los raster son un modelo de datos en el cual las entidades geográficas son representadas usando celdas, generalmente cuadrados. Un raster es esencialmente como una matriz bidimensional (filas y columnas). El modelo de datos raster permite simular la continuidad de datos espaciales y obtener datos continuos a partir de su análisis espacial.

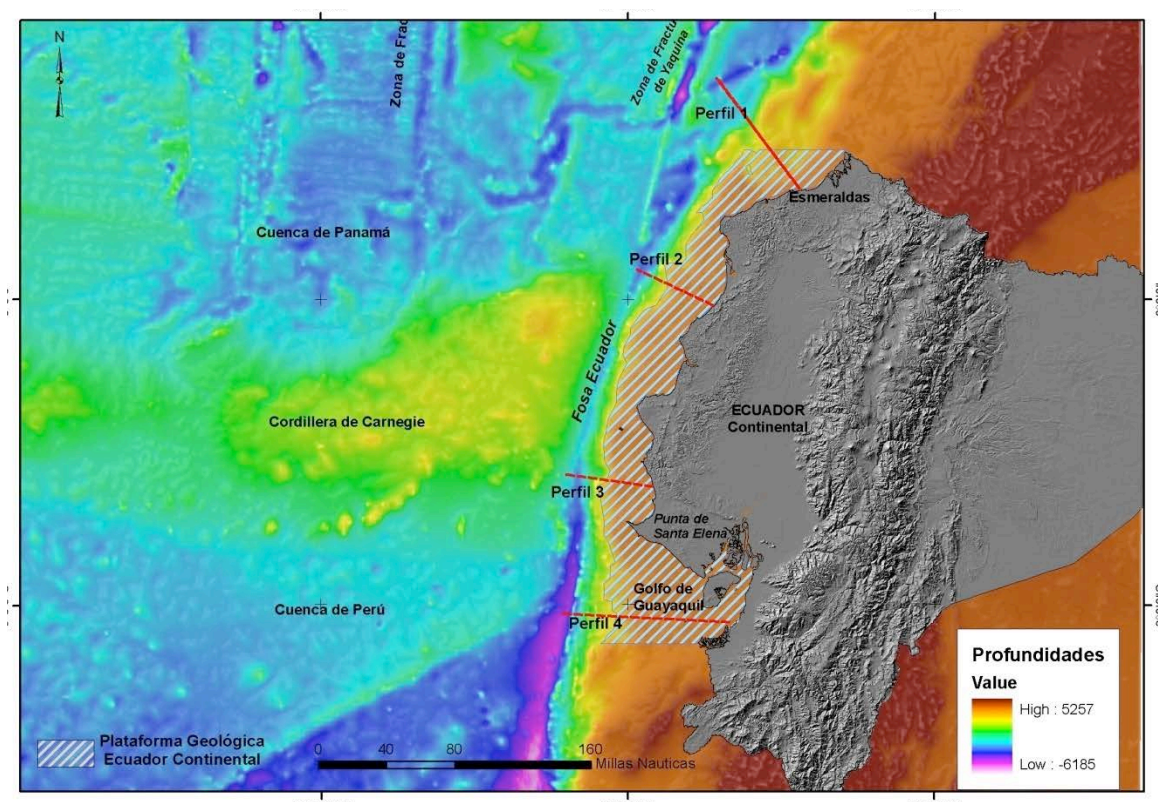


Figura 5.- Amplitud de la Plataforma continental del Ecuador. Se puede apreciar que en el territorio continental la plataforma submarina es relativamente angosta. Desde Esmeraldas hasta la Punta de Santa Elena, el ancho varía entre 20 Km y 50 Km, y en el sector del Golfo de Guayaquil llega hasta los 100 Km. Se muestra la ubicación de cuatro perfiles batimétricos (líneas color rojo) realizados en este trabajo.

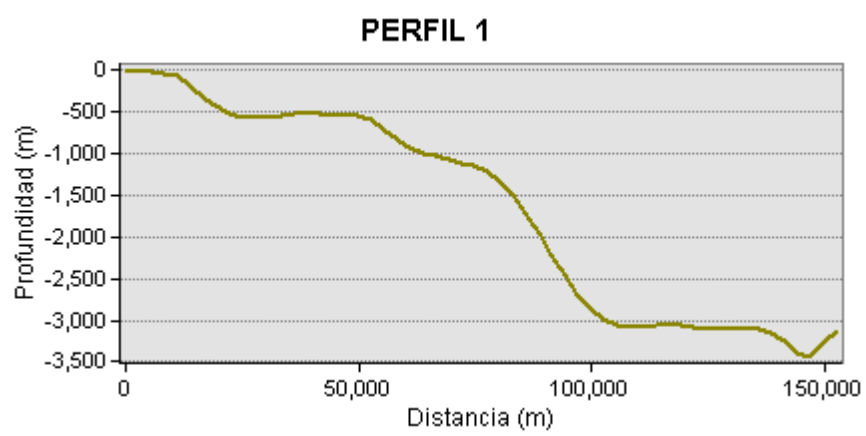


Figura 6.- Perfil batimétrico en el sector de Esmeraldas. Se puede observar que la Plataforma Continental es muy angosta y que su plataforma y talud son muy irregulares, llegando al fondo abisal a 100 Km de la línea de costa.

perfil el talud tiene una pendiente regular de aproximadamente 11.6%, y alcanza el fondo abisal a una distancia de 80 Km de la línea de costa.

En el perfil 3 (Figura 8), ubicado al Norte de la Punta de Santa Elena, en el sector de Manglaralto, la plataforma continental tiene una extensión de aproximadamente 55 Km, y es relativamente regular. El talud continental, en este sector, alcanza

el fondo abisal a los 100 km desde la línea de costa.

El perfil 4 (Figura 9), localizado en el sector del Golfo de Guayaquil, al Norte del Archipiélago de Jambelí, muestra una plataforma regular de 100 km de amplitud, y un talud irregular que encuentra el fondo abisal a 175 km, de la línea de costa. Este es el sector continental de Ecuador con la mayor extensión de plataforma submarina.

Tomando la definición de margen continental dada por la CONVEMAR (Párr. 3 Art. 76)³, que considera el talud como parte de la plataforma continental, el Ecuador tiene un margen continental que se extiende, regularmente, hasta los 100 Km (54 MN), alcanzando su máxima extensión en el Golfo de Guayaquil con 175 Km (95 MN).

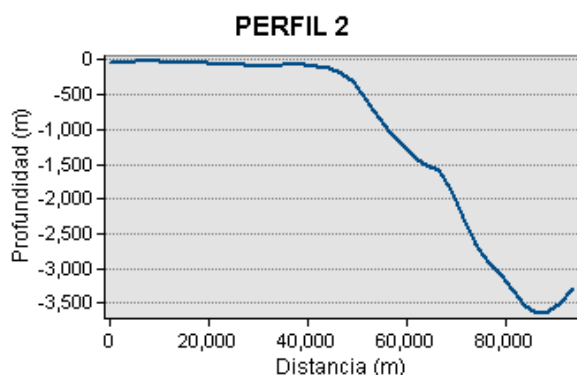


Figura 7.- Perfil batimétrico frente a la Provincia de Manabí, sector de Jama. Se puede observar que la Plataforma Continental en este sector alcanza una anchura de 40 Km hasta el bode del talud, llegando al fondo abisal a 80 Km de la línea de costa.

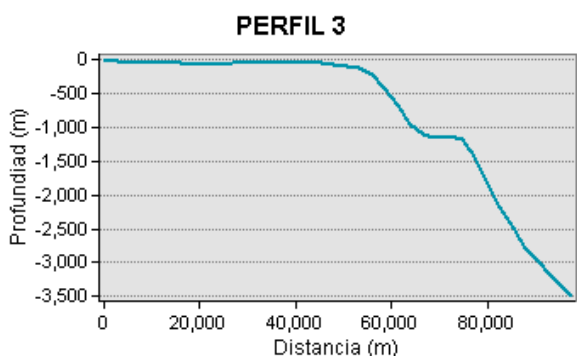


Figura 8.- Perfil batimétrico localizado al Norte de la Punta de Santa Elena. Se puede observar que la Plataforma Continental en este sector alcanza una anchura de 40 km, la pendiente del talud es del 15%. En este sector la plataforma alcanza el fondo abisal a 80 km de la línea de costa, muy similar al perfil 2.

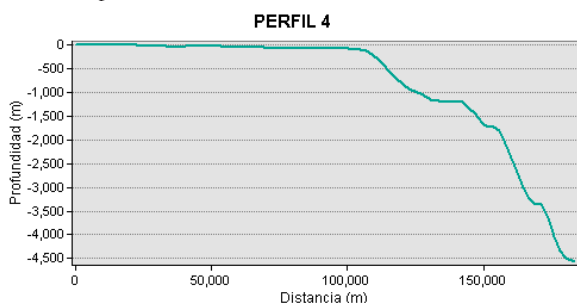


Figura 9.- Perfil batimétrico en el Golfo de Guayaquil. Se puede observar que la Plataforma Continental en este sector alcanza un ancho de 100 km, con una pendiente de talud de 5%, llegando al fondo abisal a 175 km de la línea de costa.

5. Plataforma Continental del Ecuador de acuerdo a la CONVEMAR

La definición jurídica de Plataforma Continental, expuesta por la CONVEMAR en el Art. 76, manifiesta que esta comprende el lecho y subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su Mar Territorial y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio hasta el borde exterior del margen continental, o bien hasta una distancia de 200 MN contadas desde sus Líneas de Base (LB).

El margen continental se encuentra definido, también por la CONVEMAR, como la masa continental submarina formada por la plataforma, el talud y la emersión continental.

De acuerdo a estas definiciones la plataforma continental jurídica abarca todo el territorio submarino contiguo a un estado ribereño hasta una distancia de 200 MN medidas desde su línea de base, independientemente del ancho natural de la plataforma geológica.

En el territorio continental el Sistema de Líneas de Base (SLB), coincide con el límite externo de la plataforma geológica; por lo cual la plataforma jurídica abarca el suelo y subsuelo de la plataforma natural, la Fosa Ecuador-Perú, gran parte de la Cordillera de Carnegie, parte de la Cuenca de Panamá y parte de la Cuenca de Perú, abarcando un área de 237.038 Km², donde el país tiene derechos de soberanía para la exploración y explotación de sus recursos naturales allí existentes, tal como lo indica el Art. 77⁴ de la CONVEMAR (Figura 10)

En el territorio insular el SLB rodea las islas Galápagos, por lo cual la plataforma continental jurídica abarca la plataforma geológica que se encuentra entre las islas Galápagos y parte de la que se extiende a través de las Cordilleras de Carnegie, Colón y Cocos. La plataforma jurídica también abarca partes de las cuencas de Perú y Panamá (Figura 11).

El área total que abarca la plataforma jurídica del territorio insular ecuatoriano es de 855.104 Km².

³El margen continental comprende la prolongación sumergida de la masa continental del Estado ribereño y está constituida por el lecho y el subsuelo de la plataforma, el talud y la emersión continental..." Párrafo 3 Art. 76

⁴Art. 77.- "El Estado ribereño ejerce derechos exclusivos de soberanía para la exploración y explotación de los recursos naturales existentes en su plataforma continental. Si el Estado ribereño no explora o explota los recursos naturales de ésta, nadie podrá emprender estas actividades..."

Si se realiza una comparación entre el área de plataforma geológica (38.000 Km²) con el área de la plataforma jurídica (237.038 Km²) del territorio continental, se destaca que el Ecuador se beneficia con una extensión adicional de plataforma de 199.038 Km².

Ejecutando el mismo ejercicio en el territorio insular, al contrastar el área entre la plataforma geológica (627.820 Km²) con el área de plataforma jurídica (855.104 Km²), se muestra que Ecuador

se favorece con un área de 227.284 Km², sin considerar la posibilidad de extensión de Plataforma más allá de las 200 MN que tiene Ecuador a través de las Cordilleras de Carnegie y Colón.

La plataforma continental jurídica, definida por la CONVEMAR, le permite al Ecuador tener derechos de soberanía para la exploración y explotación de sus recursos naturales en un área 426.322 Km² adicionales a los que geológicamente tendría (Tabla 1).

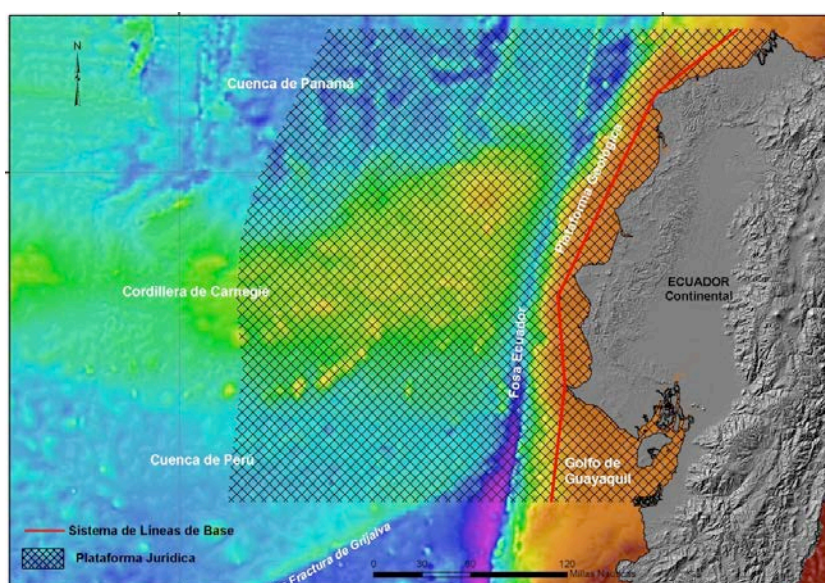


Figura 10.- Se puede observar que jurídicamente, de acuerdo al Art. 76 de la CONVEMAR, en el sector continental, Ecuador tiene derecho a una plataforma que comprende el suelo y subsuelo de la plataforma natural, la Fosa Ecuador-Perú, la Cordillera de Carnegie, parte de la Cuenca de Panamá y parte de la Cuenca de Perú, con una superficie aproximada de 237.038 Km².

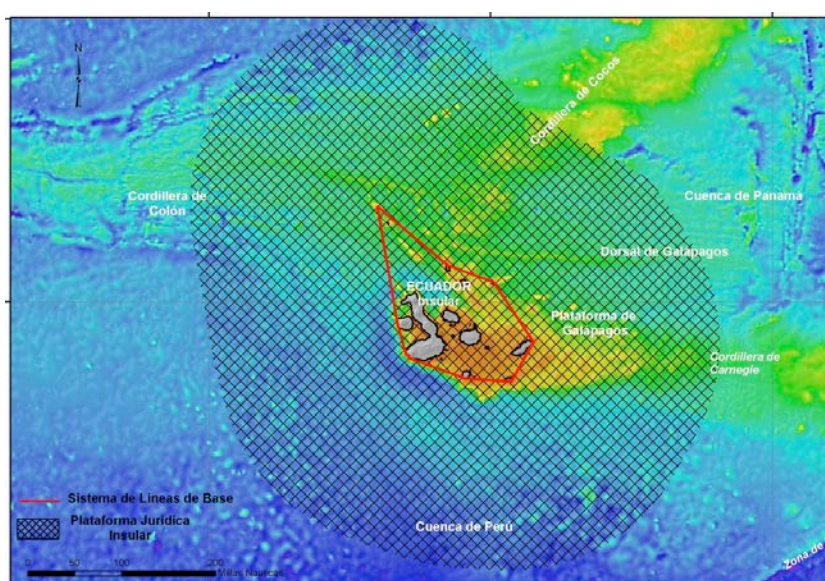


Figura 11.- Plataforma Insular del Ecuador aplicando el Art. 76 de la CONVEMAR. Se puede observar que comprende el suelo y subsuelo de la Plataforma de Galápagos, el extremo Suroccidental de la Cordillera de Cocos, el extremo Oriental de la Cordillera de Colón y parte del extremo Norte de la Cuenca de Perú.

Tabla 1.- Comparación de superficies entre las plataformas submarinas naturales y jurídicas del Ecuador.

	Natural (Km²)	Jurídica (Km²)	Diferencia (Km²)
Plataforma Continental	38.000	237.038	199.038
Plataforma Insular	627.820	855.104	227.284
Totales	665.820	1.092.142	426.322

6. Conclusiones

Ecuador, desde el punto de vista geológico, tiene dos tipos de plataformas continentales: una en el territorio insular (Islas Galápagos) cuyo origen es producto de la interacción entre el Punto Caliente de Galápagos con el Centro de Divergencia del mismo nombre, y el segundo en el territorio continental que se encuentra en el margen convergente entre las placas de Nazca y Suramericana.

La plataforma continental geológica de las islas Galápagos se extiende direccionalmente a través de las cordilleras submarinas de Carnegie, Colón y Cocos, es decir en sentido Este, Noroeste y Noreste respectivamente, abarcando un área aproximada de 627.820 Km². Al Oeste y Sur de las islas Galápagos, prácticamente no existe plataforma submarina, pues en esos sectores se presenta una profunda pendiente abrupta.

La plataforma del territorio continental es muy angosta y presenta un ancho promedio de 54 MN, siendo el Golfo de Guayaquil el sector con mayor extensión con 95 MN. El área aproximada que abarca la plataforma submarina natural en el continente es 38.000 Km².

Aplicando el concepto jurídico de plataforma continental dado por la CONVEMAR en el Art. 76 - el mismo que abarca la plataforma geológica, el talud y la emersión o hasta una extensión de 200 MN contadas desde las líneas de base- Ecuador tendría un aumento del área de su plataforma continental geológica:

a) En el territorio Insular la plataforma tendría una extensión de 855.104 Km², ganando un área de 426.322 Km², abarcando partes de las cuencas de Perú y Panamá, y gran parte de la plataforma continental geológica (pues se puede extender la

plataforma más allá de las 200 MN, a través de los sectores del Saddle de la Cordillera de Carnegie y a través de la Cordillera de Cocos).

b) En el territorio continental la plataforma continental tendría una extensión de 237.038 Km², incrementando su extensión en 199.038 Km², abarcando la plataforma geológica del territorio continental, la Fosa Ecuador, el sector Oriental de la Cordillera de Carnegie y parte de las cuencas de Panamá y Perú.

Bibliografía

- Breman, J. (2002). *Marine Geography, GIS for the Oceans and Seas*. ESRI. E.E.U.U.
- Bustamante, M.; Maldonado, H. (2002). *Delimitación de espacios marítimos*. México.
- Comisión de Límites de la Plataforma Continental. (1999). *CLCS 11*.
- Comisión Nacional sobre el Derecho del Mar. (2002) *El Derecho del Mar, Convención de las Naciones Unidas*. Ecuador.
- Ego F., Sebrier, M., Lavenue, A., Yepes, H., and Eguez, A. (1996). *Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes*. *Tectonophysics* 259, 101-116.
- Gallardo G., Toulkeridis T. (2008). *Volcanic caves and other speleological attractions*. Centro de Geología, Vulcanología y Geodinámica. USF-Q, 54 pp.
- Graindorge D., Calahorrano A., Charvis J.p., Collot Y, Bethoux N. (2004). *Deep structures of the Ecuador convergent margin and the Carnegie Ridge, possible consequence on great earthquakes recurrence interval*. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 31, L04603, doi:10.1029/2003GL018803.

Gutscher, M. A., J. Malavieille, S. E. Lallemand, and J. Y. Collot (1999). *Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision*, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 168, 255–270, 1999.

Harpp K., Wanless V., Otto R., Hoernle K., Werner R. (2005). *The Cocos and Carnegie Aseismic Ridges: a Trace Element Record of Long-term Plume–Spreading Center Interaction*. *Journal of Petrology*, vol. 46, N. 1, p. 109–133.

Hey, R. (1977). *Tectonic evolution of the Cocos–Nazca spreading center*. *Geological Society of America Bulletin* 88, 1404–1420.

Kanamori, H., and K. C. McNally (1982). *Variable rupture mode of the subduction zone along the Ecuador-Colombia coast*, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, 1241–1253.

Lonsdale, P. (1978). *Ecuadorian Subduction System*, *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 62 (12), 2454–2477.

Martillo, C. (2010). *Los Sistemas de Información Geográfica para la generación de los Límites Marítimos del Ecuador; aplicando la Ley del Mar de las Naciones Unidas (CONVEMAR) de espacios marítimos*. Tesis de Maestría UNIGIS- USFQ.

Pazmiño, N. (2005). *Sediment distribution and depositional processes on the Carnegie Ridge*. Tesis de Maestría. E.E.U.U.

Pennington, W.D. (1981). *Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America*: *Journal of Geophysical Research*, v. 86, p. 10753–10770.

Sallares, V. (2008). *The geodynamic evolution of the Galápagos Volcanic Province and the origin of the Carnegie Ridge*. Informe Geológico para la UTCNDM.

Spikings R. A., Winkler, W., Seward, D., Handler, R. (2001). *Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust*. *Earth and Planetary Science Letters* 186, 57–73.

Taboada A., Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia), *Tectonics*, 19, 787–813.

Witt, C. (2008). *Geology and morphology of the Oceanic Floor along de Carnegie Ridge*. Informe Geológico para la UTCNDM.

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONACIÓN MORFO-ESTRUCTURAL PARA IDENTIFICAR NUDOS SISMOGÉNICOS EN LA REGIÓN COSTERA Y CADENAS MONTAÑOSAS DE LOS ANDES SEPTENTRIONALES DEL ECUADOR

Kervin CHunga ^(1,2)
 Alessandro M. Michetti ⁽³⁾
 Alexander I. Gorshkov ⁽⁴⁾
 Giuliano F. Panza ^(5,6)
 Alexander Soloviev ⁽⁴⁾
 Carlos Martillo ⁽⁷⁾

Resumen

Debido a la escasa información en los catálogos de terremotos históricos, desde el año 1541 hasta el año 2010 y, además, de la cartografía de los terrenos con fallas capaces de generarlos, no ha sido posible que los modelos de zonación sísmica para Ecuador definan parámetros de atenuaciones concordantes con la actividad tectónica del territorio. El presente estudio pretende proporcionar nuevas técnicas de ingeniería para evaluar la peligrosidad sísmica. La técnica asume que los fuertes terremotos corticales son generados alrededor de intersecciones de zonas de fallas, nudos estructurales. Los nudos han sido caracterizados por el método de zonación morfo-estructural, basado sobre la idea que la litosfera es formada por bloques de diferentes escalas, separadas por límites móviles. Estos bloques son representados en un mapa morfoestructural, compilado con la tecnología GIS a escala 1:500.000 para las cadenas colinares costeras y subandina, y a escala 1:750.000 para las cadenas montañosas de los Andes septentrionales del Ecuador. Datos geológicos, topográficos, morfológicos y gravimétricos fueron obtenidos desde cada nudo estructural, posteriormente esta información ha sido insertada en el software "CORA 3" (técnica "Pattern Recognition") para codificar y discretizar los valores que nos permiten individualizar los nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M \geq 6$ y $M \geq 6.5$. Muchos de estos nudos son delineados a lo largo de estructuras de fallas. Los resultados en este estudio indican altos niveles de sismicidad en áreas en donde no existen registros de terremotos, además la localización de nudos sismogénicos pueden proporcionar un catálogo sintético que podría ser complementado con el corto catálogo de terremotos históricos del Ecuador para la elaboración de modelos de zonación sísmica.

Palabras claves: Nudos sismogénicos; Zonación morfo-estructural; Pattern recognition; peligro sísmico; Ecuador

Abstract

Due to the lack of information in the catalogue of historic earthquakes (1541-2010) and also of potential but unmapped faults in the field, the seismic zoning modeling for Ecuador does not define parameters of equivalent attenuations of the tectonic activity of the territory. The aim of this research is to provide new engineering techniques for seismic hazard evaluation. The technique of this study is based on the assumption that strong earthquakes are associated within structural nodes that are specific structures formed around intersections of fault zones. The nodes have been delineated with a morphostructural zoning method, based on the idea that the lithosphere is made-up of different-scaled blocks, separated by mobile boundaries. These blocks are represented on a morphostructural map, compiled with the GIS

¹ Comisión de Geofísica Aplicada. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Sección Nacional Ecuador. (kervin.chunga@gmail.com)

² Escuela de Petróleos, Universidad Estatal de la Península de Santa Elena, UPSE, Ecuador.

³ Università degli Studi dell'Insubria, Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, via Valleggio 11, 22100, Como, Italia

⁴ International Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁵ The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Miramare, 34151, Trieste, Italy

⁶ Department of Earth's Sciences, University of Trieste, via E. Weiss 4, 34127 Trieste, Italy

⁷ Unidad Técnica de la Comisión Nacional sobre el Derecho del Mar, UTCNDM – INOCAR, Ecuador

technology at a scale of 1:500.000 for coastal hills and subandean mountain chains and at a scale of 1:750.000 for the northern Andean mountain ranges. For each structural node, geological data were obtained from an area with a radius of 25 Km and subsequently inserted into the software of pattern recognition algorithm "CORA 3" (technique "Pattern recognition") in order to identify the nodes capable of earthquakes with $M \geq 6$ and $M \geq 6.5$. Many of these nodes are delineated along seismogenetic structures. The main results in this study indicate high levels of seismic records in areas where data of earthquakes are absent. In addition the spatial distribution of seismogenetic nodes may provide a synthetic catalog that could be complementary with the short historical earthquake catalogue in the elaboration of seismic hazard modeling.

Keywords: Seismogenic nodes; Morphostructural zonation; Pattern Recognition; Seismic hazard; Ecuador

Introducción

Ecuador es caracterizado, desde el Oeste al Este, por cuatro distintos dominios de provincias morfo-estructurales: (1) región insular o Galápagos, (2) región costera o Litoral, (3) región de los Andes o Sierra, y (4) región de la cuenca Amazónica u Oriente. Las tres últimas regiones comprenden el territorio continental del Ecuador, donde los caracteres estructurales serán expuestos y discutidos en las siguientes secciones de la presente investigación.

Uno de los principales objetivos de este estudio es individualizar, en el segmento continental de Ecuador, las potenciales zonas sismogénicas capaces de generar terremotos crustales con $M \geq 6$ y $M \geq 6.5$. Los terremotos profundos con distancia focal $40 \leq H \leq 260$ Km registrados a lo largo del plano de Benioff no han sido tomados en consideración en este análisis. El motivo de esta selección es de carácter metodológico (ie. Gorshkov et al. 2002). Por consiguiente, se quiere investigar el potencial sísmico desde la confrontación de datos sismológicos históricos e instrumentales y de datos geológicos de superficie (ie. topográficos, geomorfológicos, gravimétricos, tectónicos y estructurales).

Por otra parte, en la zona de subducción ubicada a lo largo de la fosa oceánica de Ecuador, han sido generados fuertes terremotos corticales que han afectado la región costera continental (Mendoza & Dewey, 1984; Segovia, 2001; Segovia & Alvarado, 2009; Silgado, 1957; Swenson & Beck, 1996; White et al., 2003). Debido a este antecedente y para complementar un catálogo homogéneo de terremotos corticales y de fallas capaces, ha sido seleccionada un área de estudio que incluye la mega-estructura sismogénica de la zona de subducción y las fallas plio-cuaternarias

del segmento continental del Ecuador. El área en examen es delimitada por las siguientes coordenadas geográficas, lat. 2°N a 5°S y long. 82°W a 75°W .

Un primer catálogo incluye 128 terremotos corticales (ie., son el tipo de terremotos caracterizados porque generalmente ocurren a lo largo de las fallas geológicas o rupturas de la corteza terrestre, a profundidades entre 10 y 40 Km debajo de la superficie terrestre), que describe los parámetros de: (1) distancia de hipocentros inferior a 40 Km, (2) intervalo de magnitudes comprendida entre $5.9 \leq M_w \leq 8.8$, e (3) intensidad macrosísmica comprendida entre $\text{VIII} \leq \text{MM} \leq \text{XI}$, MM=escala macrosísmica de Mercalli. Para la complementación de este catálogo, las informaciones sobre localidad de epicentros, intensidad máxima estimada, máxima magnitud asociada, distancia de área epicentral y efectos cosísmicos en el terreno, han sido obtenidas del análisis y de la combinación de varios catálogos, tales como: (a) "National Earthquake Information Center" - NEIC, (<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>) (b) Centro Regional de Sismología para América del Sur - CERECIS, (<http://www.ceresis.org/portall/index.php>) y (c) La Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional -RENSIG (<http://www.igepn.edu.ec/>).

Información con relación a terremotos históricos están disponibles en los catálogos del RENSIG, CERECIS (en escala MM), y en las crónicas de Teodoro Wolf (1872). Para estos eventos de época pre-instrumentales, en el sitio oficial de CERECIS están también disponibles datos de magnitudes estimadas a partir de la intensidad macrosísmica (Me). El catálogo NEIC registra terremotos instrumentales que han afectado

a Ecuador desde 1973 (disponible en escala de Magnitud momento, M_w). A nivel local, la red sísmica del RENSIG inicia a recopilar información sísmológica con resolución más precisa desde 1988. En este periodo solamente un terremoto cortical destructivo ha sido registrado, el evento

del 04.08.1998 (M 7.1) con epicentro en Bahía de Caráquez (Manabí). La información sísmológica disponible de la RENSIG comprende actualmente sismos con $M_s \geq 4$ (RENSIG). La conversión de escalas mb, M_s a M_w ha sido aplicado desde las formulas propuestas por Caguari (2008).

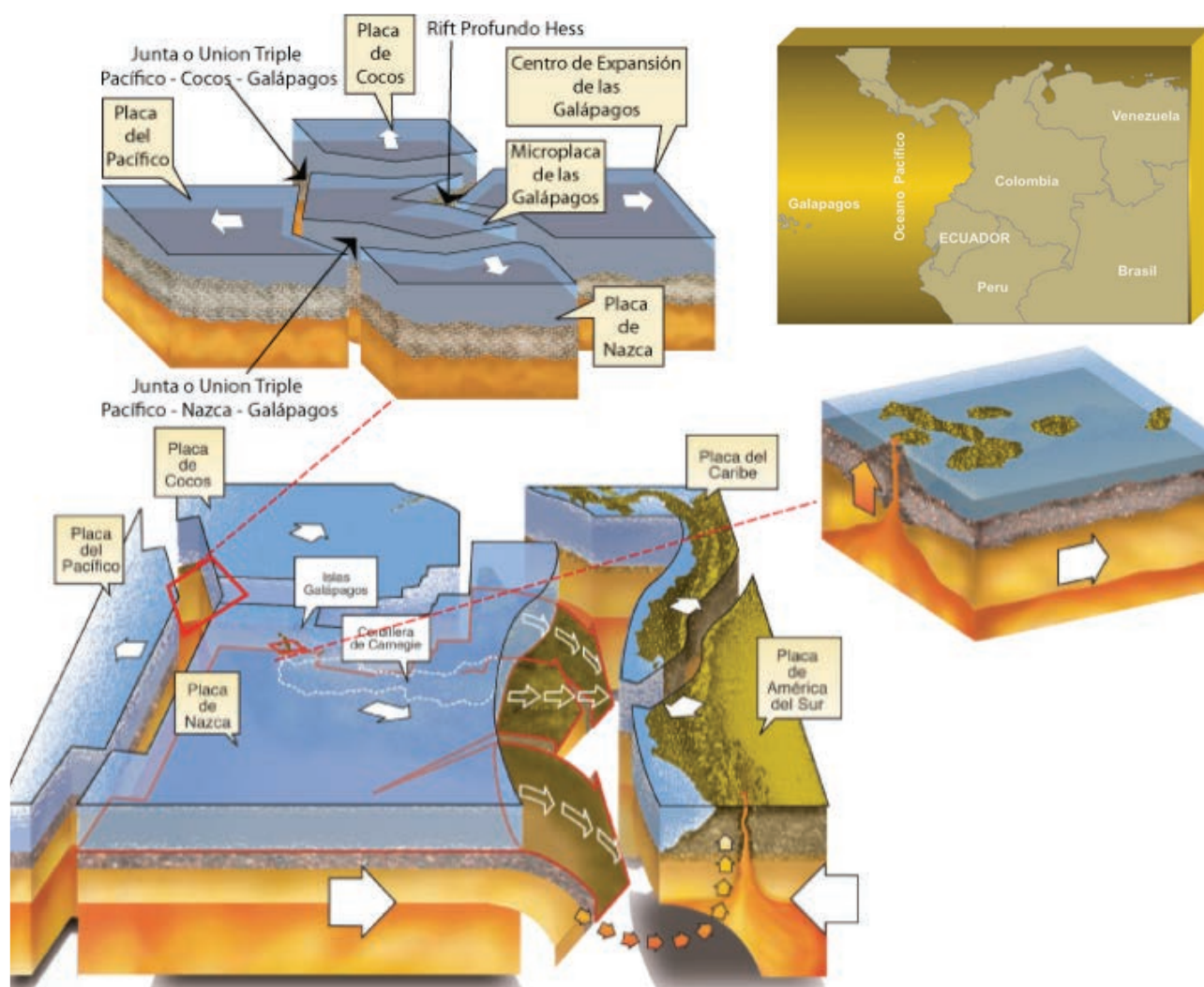


Figura 1.- Modelo geodinámico del Ecuador insular y continental. Cinemática de la placa de Nazca y su relación con el punto caliente Galápagos y el centro de divergencia (conocida también como dorsales Galápagos). El Sistema Mayor Dextral (SMD) es la franja de colisión continental que separa el Bloque Nor-Andino (indicándola en la figura como parte de la placa del Caribe) y la placa Sudamericana (modificado por Toulkeridis et al., 2009).

Un segundo catálogo de fallas corticales ha sido creado en plataforma GIS compuesta de 220 segmentos de fallas activas y capaces en el territorio continental de Ecuador; 40 segmentos de fallas en el territorio contiguo al Perú y 17 segmentos de fallas en un sector fronterizo con Colombia (ver catálogo completo, pág. 143, Chunga 2010). El database de este catálogo incluye información de: (1) tipo, geometría, y longitud de la falla, (2) cinemática y profundidad asociada al plano de falla, estimada desde los datos hipocentrales de sismos

instrumentales y (3) forma y tendencia estructural y morfológica sobre el terreno a través del uso de modelos digitales de elevación (DEM, siglas en Inglés) con resolución aproximada a 30 metros de alcance. Estos parámetros son muy importantes para calcular la distancia vertical y horizontal, desde objetos sensibles (ie. plantas industriales propensas a riesgo ambiental colindante con áreas urbanas densamente pobladas) hasta las principales estructuras sismogénicas.

Información con relación a fallas capaces que afectan el Ecuador continental y contiguas zonas limítrofes, son obtenidas desde campañas técnicas durante la fase de geología de campo y exploración de varias investigaciones, y de literatura científica proveniente de, Baldock (1982, 1983); Chunga (2010); Chunga et al. (2005a, 2009); Deniaud et al. (1999); Dumont et al. (2005, 2006); Ego et al. (1996a, 1996b); Eguez et al. (2003); LRG (1986); Segovia & Alvarado (2009); Tibaldi et al. (2007); Winter et al. (1989a, 1989b, 1993); y Witt et al. (2006).

La creación de estos catálogos permitió realizar un análisis espacial de la distribución de sismos a lo largo de las estructuras geológicas, sin embargo, también fueron tomados en consideración otros parámetros de datos gravimétricos, topográficos y morfológicos con la finalidad de aplicar por primera vez en el Ecuador, la técnica de "Pattern Recognition" de zonación morfo-estructural para la determinación de potenciales niveles de sismicidad en áreas donde los registros de terremotos históricos son ausentes. Los datos gravimétricos fueron obtenidos desde la publicación realizada por Feininger & Seguin (1983).

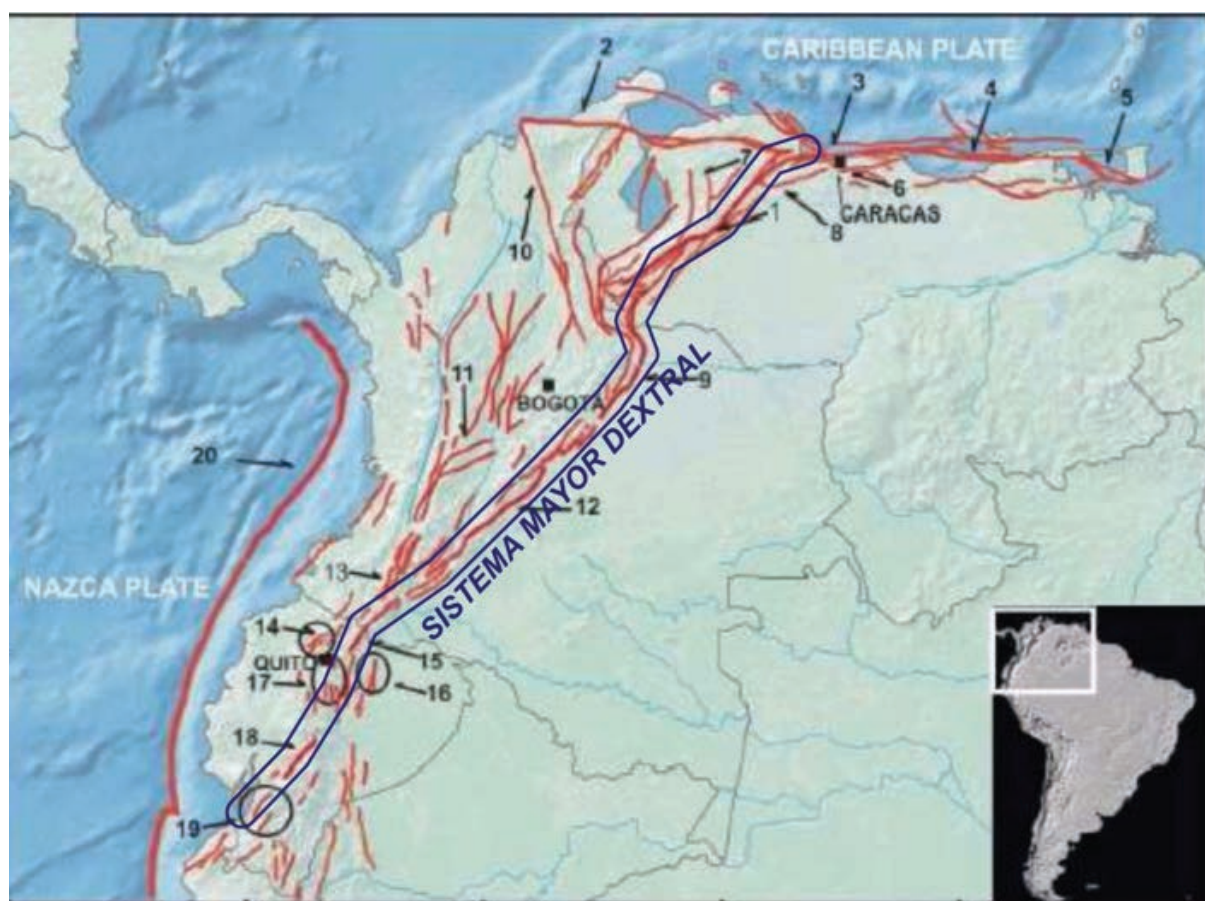


Figura 2.- Esquema de los principales sistemas de fallas capaces a lo largo del Bloque Nor-Andino: 1. Bocono; 2. Oca-Ancon; 3. San Sebastian; 4. El Pilar; 5. Los Bajos-El Soldado; 6. Tacagua-El Avila; 7. San Simon; 8. La Victoria; 9. Sistema de fallas de los Andes Occidentales; 10. Santa Martha – Bucaramanga; 11. Ibague; 12. Algeciras-Servitas; 13. Romeral; 14. San Isidro-El Angel-Otavalo; 15. Chingual; 16. Payamino – Sumaco – Pusuno - Araujo; 17. Quito – Nagische – Latacunga - Yanayacu; 18. Pallatanga; 19. Naranjal-Poce Enriquez; 20. Zona de subducción (modificado por Costa et al., 2006). La línea sólida en azul indica el trayecto estructural del Sistema Mayor Dextral (SMD) que se extiende desde el Golfo de Guayaquil hasta la costa Norte de Venezuela.

Geología y Ambiente Tectónico

El Ecuador ocupa una posición particular desde el punto de vista de la tectónica de placas (Graindorge et al., 2004; Harpp et al., 2005; Hey, 1977; Kanamori, 1982; Lonsdale, 1978; Pennington, 1981; Sellarés

et al., 2003, 2005), por cuanto comprende: (1) el punto caliente de las Galápagos, (2) la adyacente dorsal oceánica o "centro de divergencia" que separa las placas de Cocos y Nazca, (3) una zona de subducción de corteza oceánica a través de la cual la placa de Nazca se subduce debajo

del margen continental constituido por la placa Sudamericana y del Bloque Nor-Andino, y (4) una franja de deformación continental conocida como "Sistema Mayor Dextral", SMD (Figura 2).

La actividad de la dorsal Galápagos o centro de divergencia determina actualmente los movimientos relativos de las placas de Cocos y

Nazca, donde la corteza oceánica de edad inferior a 23 Ma (millones de años) se alterna con la corteza oceánica de edad superior a 35 Ma (Hey, 1977; Spikings et al., 2001). Esta dorsal genera corteza oceánica de espesor medio (≈ 7 Km), mientras que el punto caliente de las Galápagos genera corteza oceánica de mayor espesor entre los 18 a 22 Km (Hey, 1977; Gustcher et al., 1999; Toboada et al., 2000).

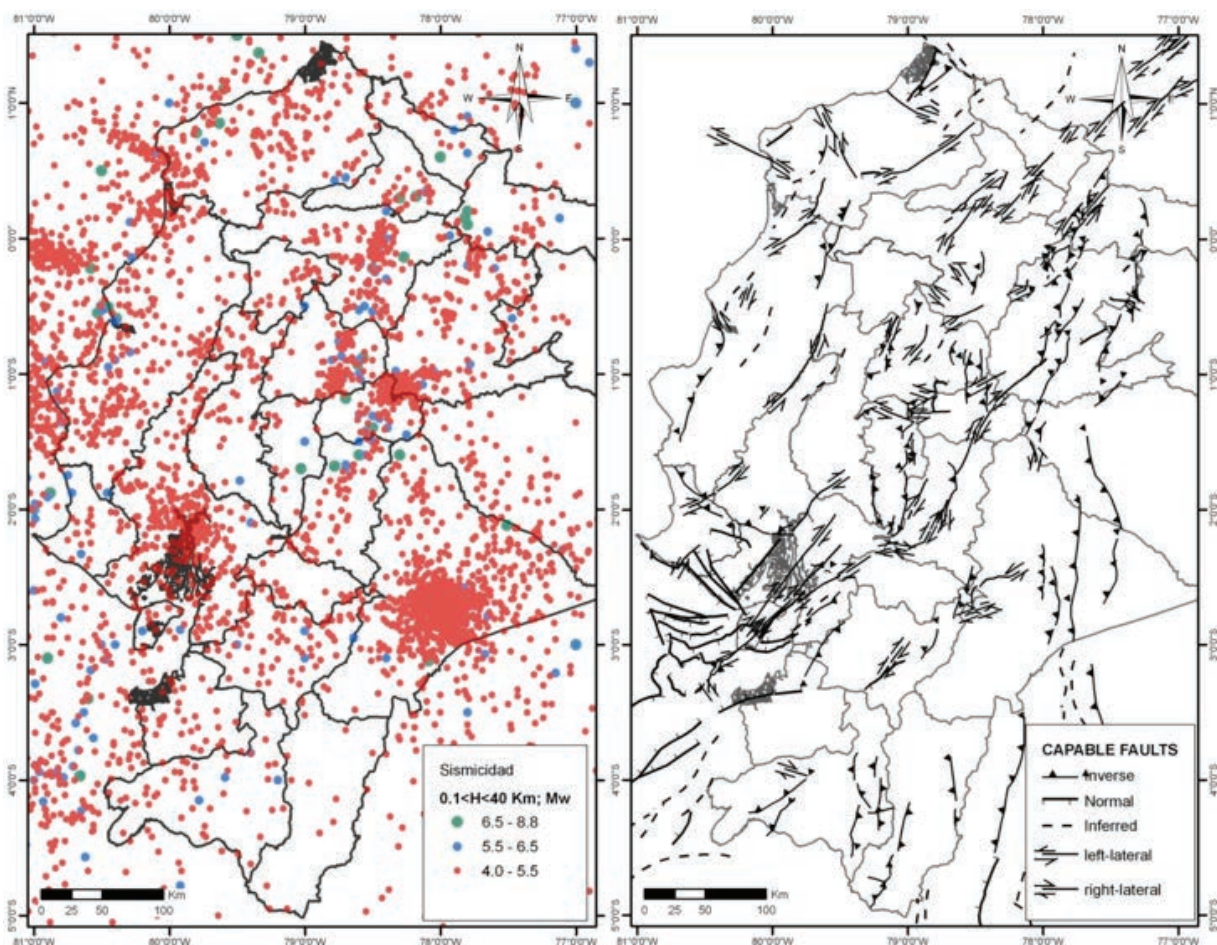


Figura 3.- Sismicidad y ambiente tectónico en Ecuador. Izquierda, distribución espacial de sismos instrumentales con $4 \leq M \leq 8.8$. Derecha, cinemática y tipo de fallas capaces cartografiada en el territorio.

El punto caliente de las Galápagos ha formado una serie de altos relieves morfo-batimétricos sobre el fondo oceánico con trayectoria hacia los márgenes costeros del Pacífico oriental (ie. Dorsales de Carnegie, Cocos, Colón y Malpelo), gran parte de estos relieves están siendo subductados a lo largo del plano de Benioff-Wadati (Figura 1).

Desde el punto de vista de la dirección del transporte tectónico, el alto relieve batimétrico asísmico de Carnegie (llamado también dorsal Carnegie) empezó a modificar la geometría de la

zona de subducción a partir del Plioceno superior – Pleistoceno inferior (ie. Lonsdale, 1978; Ego, 1996b; Harpp et al., 2005), acompañada de una reducción del ángulo de inclinación de la placa subyacente como consecuencia de un fuerte acoplamiento entre las dos litósferas convergentes, Placa de Nazca y el Bloque Nor-Andino (Barberi et al. 1988; Lebrat et al., 1985).

La colisión de la dorsal Carnegie a lo largo de la zona de subducción está levantando el margen continental central de Ecuador siendo ésta la

principal causa de las formaciones de las cadenas colineras costeras, que alcanzan una altitud máxima cercana a los 850 m.s.n.m. En profundidad, el plano subyacente debajo de la región costera

es de 4° a 10°, incrementando su inclinación (zona de pendiente Benioff) entre 40° a 45° debajo de los Andes y regiones subandinas, en estas últimas regiones los terremotos más profundos ocurren alrededor de los 280 Km (ie. Chunga et al., 2009).

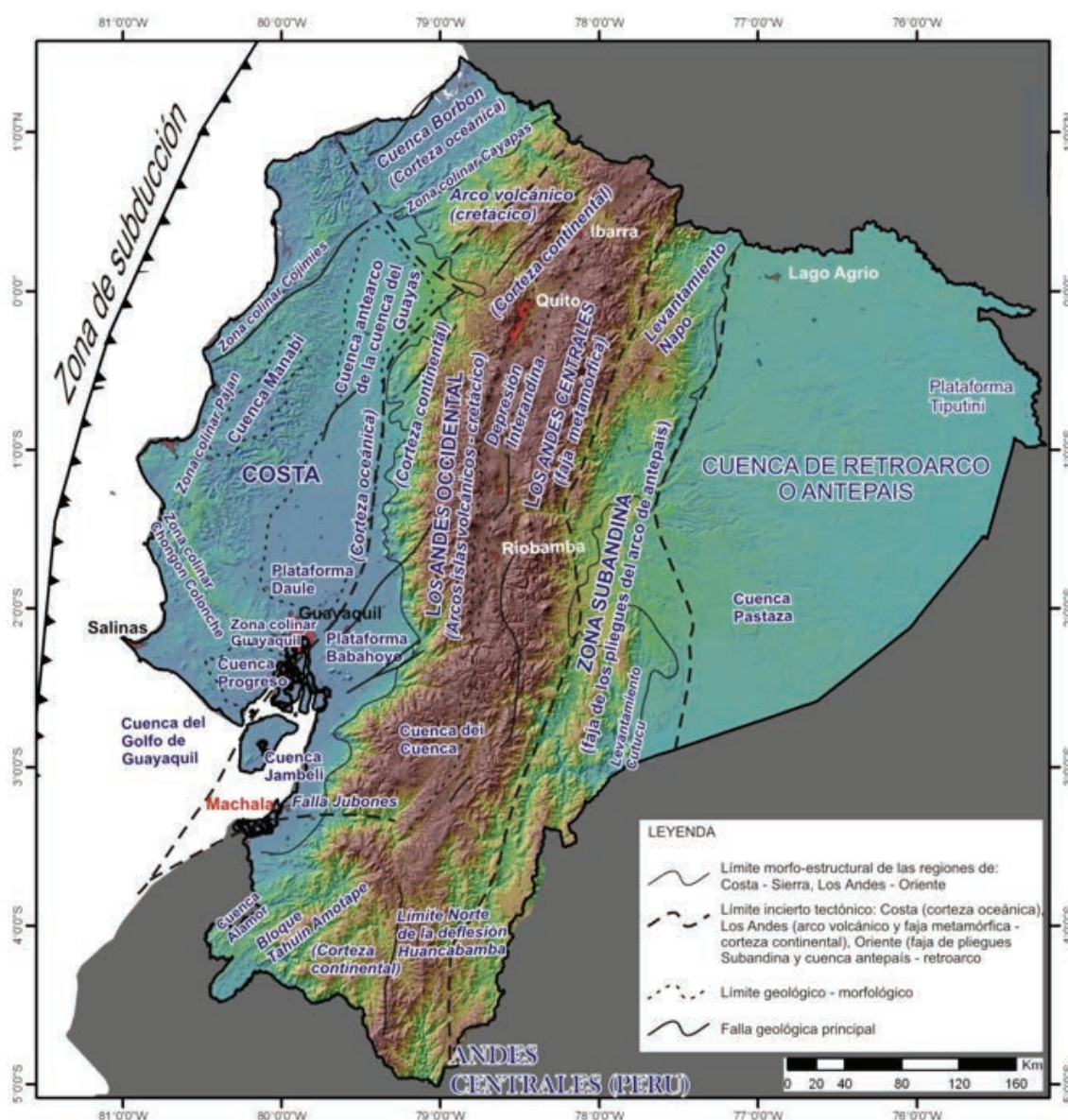


Figura 4.- Modelo morfo-estructural del Ecuador (modificado por Baldock, 1982, 1983) indicando los límites tectónicos de: la corteza oceánica (región Costa), de la corteza continental, y también de los arcos volcánicos, la faja metamórfica (región de los Andes) y zona subandina y cuenca de retroarco (región Oriente). La deflexión de Huancabamba divide los Andes Septentrionales (tendencia estructural NE) de los Andes Centrales (tendencia estructural SO).

Desde el punto de vista de la tectónica local, la activa zona de subducción afecta a los dos bloques continentales móviles, la placa Sudamericana y el Bloque Nor-Andino, ambas sujeta a la convergencia oblicua de la placa de Nazca, con tendencias estructurales N50E-N80E y movimiento lateral de 58 ± 2 mm/año (ie. Freymueller et al., 1993; Kellogg & Bonini, 1982; Kellogg & Vega, 1995;

Nocquet et al., 2009; Pennington, 1981; Trenkamp et al., 2002).

Al interior del continente, una importante franja de deformación denominada "Sistema Mayor Dextral, SMD" indica el límite de una colisión convergente continental entre el Bloque Nor-Andino y la placa Sudamericana (Chunga et al.,

2009; Chunga, 2010; Mendoza y Dewey, 1984; Segovia & Alvarado, 2009; Witt et al., 2006). Esta estructura sismogénica (SMD) es caracterizada por un régimen transtensivo en el Golfo de Guayaquil, bien diferenciado dentro de la cuenca

Esperanza, siendo limitada al N por el sistemas de fallas Posorja y al S por el sistemas de fallas Amistad, al E por el sistema de fallas transcurrentes Puná Santa Clara y al O por estructuras de Diapiros (LRG, 1986; Witt et al., 2006; Cobos & Montenegro, 2010).

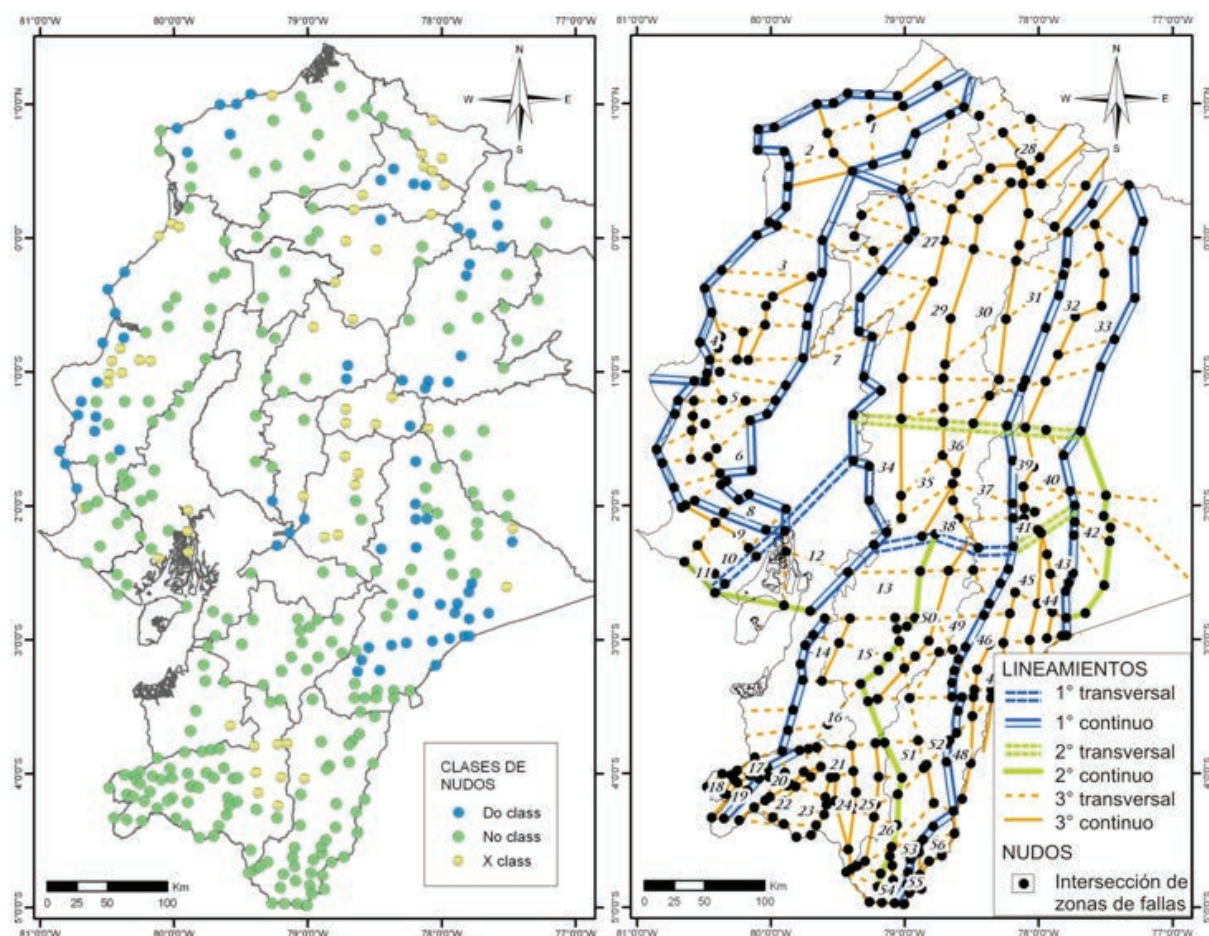


Figura 5.- Mapa de lineamientos morfo-estructurales del Ecuador. Izquierda, distribución espacial de las clases Do, No y X. Derecha, lineamientos estructurales delimitando las estructuras en bloques, las líneas dobles representan los lineamientos de primer orden, las líneas verdes corresponde a los lineamientos de segundo orden, y las líneas anaranjadas delimitan los lineamientos de tercer orden. Las líneas continuas representan los lineamientos longitudinales mientras las líneas discontinuas indican aquellas transversales.

Posteriormente, la trayectoria del SMD atraviesa la isla Puna y el estuario interno del Golfo de Guayaquil como sistemas de fallas de cizallas con desplazamiento dextral, en el interior del continente esta estructura ahora combinada con componentes inversos corta las aisladas colinas de la llanura costera de la zona de Taura (estructura Klippe – isla tectónica, máxima altitud: 646 m.s.n.m.).

En los sectores andinos Alausí - Guamote – Riobamba, el SMD es evidenciado morfológicamente en el terreno y está caracterizado por discontinuas tendencias estructurales en sus cadenas montañosas con dominios laterales de fallas transcurrentes con desplazamientos dextrales y sistemas de fallas de corrimiento de bajo ángulo.

Tabla 1.- Características morfo-estructurales de las estructuras en bloques.

N.	Name Megablock	Mean peak altitude of ranges (m)	Hmin	L	AH	AH/L SLOPE	Major strike of ranges	Major tectonic orientation	Morphology
1	Esmeraldas	606	20	38	586	15	NW-SE and NE/SW	nearly NNE-SSW	combination of chains of different strike
2	Galera chain	677	5	47	672	14	NNE-SSW	nearly NNE-SSW	combination of chains of small ranges
3	Manabi chain	786	7	24	779	32	NE-SW	nearly NNE-SSW	combination of chains of small ranges
4	Charapoto hills	442	9	12	433	36	chaotic	nearly NW-SE and NE-SW	combination of chains of different strike
5	Colonche ridge	837	4	15	833	56	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
6	Guale hills	470	20	29	450	16	NE-SW	NE-SW	hills
7	High Guayas basin	893	4	84	889	11	NE-SW	NE-SW	plain with small isolated hills
8	Colonche-Guayaquil ridge	519	14	51	505	10	NW-SE	NE-SW	single range
9	Chongon hills	400	10	37	390	11	NW-SE	nearly NW-SE	system of small hills
10	Progreso basin	200	11	22	189	9	chaotic	nearly NW-SE	isolated hills of different strike
11	Playas ridge	399	4	9	395	44	NW-SE and NE/SW	nearly NW-SE	combination of ranges of different strike
12	Low Guayas basin	637	4	35	633	18	NW-SE	nearly NE-SW	plain with isolated ranges
13	Tambo	4477	60	37	4417	119	NW-SE and NE/SW	NE-SW	combination of ranges of different strike
14	Ponce	3765	43	23	3722	162	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
15	Pucara	4154	529	59	3625	61	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
16	Zaruma-Paccha	3865	80	48	3785	79	NW-SE and NE/SW	NE-SW	combination of ranges of different strike
17	Ciano	1476	280	15	1196	80	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
18	Cazaderos ridge	1032	262	11	770	70	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
19	Paletillas	1118	360	9	758	84	NE-SW	NE-SW	single range
20	Celica	3037	240	48	2797	58	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
21	San Pedro	2755	649	21	2106	100	NW-SE and NE/SW	N-S	combination of ranges of different strike
22	Casanga	1680	247	11	1433	130	N-S and NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges lowered from SW to NE
23	Sozoranga ridge	2657	484	31	2173	70	NW-SE and NE/SW	NE-SW	combination of ranges of different strike
24	Gonzanama ridge	3046	1040	25	2006	80	NNE-SSW	N-S	system of subparallel ranges
25	Catamayo ridge	3671	1230	60	2441	41	N-S and NE-SW	NNW-SSE	system of subparallel ranges
26	Yamgana ridges	3700	2104	26	1596	61	NW-SE and NE/SW	NE-SW	combination of ranges of different strike

Continuación de la **Tabla 1** (la descripción de H_{min} , L , ΔH , $\Delta H/L$ en la Tabla 2)

N.	Name Megablock	Mean peak altitude of ranges (m)	Hmin	LA	H	AH/L SLOPE	Major strike of ranges	Major tectonic orientation	Morphology
27	western Andean ridges	3884	133	109	3751	34	NNE-SSW	NE-SW	combination of ranges of different strike
28	Mira	3914	1145	21	2769	132	NW-SE and NE-SW	NE-SW	combination of ranges of different strike
29	northern Andean ridges	5061	921	62	4140	67	NW-SE and NE-SW	NE-SW	combination of ranges of different strike
30	Interandean valley	5821	1961	120	3860	32	NE-SW	NNE-SSW	combination of ridges with intermountain depression
31	Central Andean ridges	5759	1345	162	4414	27	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges and highly elevated massifs
32	Eastern Andean	3708	707	58	3001	52	NNE-SSW	NE-SW	system of subparallel ranges and highly elevated massifs
33	high Sub-Andean	2730	363	40	2367	59	NE-SW	NW-SE and NE-SW	Piedmont and part of Amazonian lowlands
34	Caluma	3802	49	47	3753	80	NNE-SSW	NNE-SSW	combination of ranges of different strike
35	Chimborazo	6270	190	101	6080	60	NNE-SSW	NE-SW	combination of ranges of different strike
36	Riobamba	4354	2440	19	1914	101	NE-SW	NW-SE and NE-SW	isolated ranges separated by depressions
37	Tungurahua	5275	1400	23	3875	168	NW-SE and NE-SW	NW-SE and NE-SW	combination of ranges of different strike
38	Chiribamba	4553	1998	35	2555	73	NW-SE and NE-SW	NW-SE and NE-SW	combination of ranges of different strike
39	Mera hills	2254	1060	30	1194	40	NW-SE and NE-SW	NW-SE	combination of ranges of different strike
40	Puyo basin	1422	560	18	862	48	NW-SE	NW-SE	hills separated by river valley
41	Wapula hill	2036	1020	24	1016	42	NNE-SSW	NE-SW	chain of small ranges
42	low Sub-Andean	862	190	127	672	5	NW-SE	NNW-SSE	Piedmont and part of Amazonian lowlands
43	Macuma ridge	2346	240	73	2106	29	NNE-SSW	nearly N-S	chain of subparallel ridges
44	Santiago range	1800	320	36	1480	41	chaotic	NW-SE and NE-SW	combination of ranges of different strike
45	Sucua Mnts	2478	320	31	2158	70	NNE-SSW	nearly N-S	combination of ranges of different strike
46	Yuganza hills	2000	600	20	1400	70	NE-SW	NE-SW	combination of ranges of different strike
47	Palora ridge	2800	865	15	1935	129	chaotic	nearly N-S	combination of ranges of different strike
48	Paquisha hills	2309	800	33	1509	46	NW-SE and NE-SW	nearly NW-SE	piedmont and isolated small hills
49	Sig-Sig Mnts	4620	846	40	3774	94	NE-SW	NE-SW	combination of ranges of different strike
50	Gualaceo Mnts	4323	1038	139	3285	24	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
51	Zamora Mnts	3551	880	33	2671	81	NE-SW	nearly N-S	system of subparallel ranges
52	Yantzaza Mnts	3200	800	28	2400	86	NNE-SSW	nearly N-S	system of subparallel ranges
53	Yacuambi Mnts	2772	892	23	1880	82	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
54	Zumba Mnts	2074	802	11	1272	116	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
55	Tutupali Mnts	3155	1045	23	2110	92	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges
56	Nangaritza Mnts	2881	920	30	1961	65	NE-SW	NE-SW	system of subparallel ranges

En las regiones montañosas de Colombia, el SMD se prolonga a través de las cadenas andinas asumiendo un carácter tectónico netamente transcurrente dextral (ie. Costa et al., 2006), mientras que en la cadena andina de Venezuela cambia su cinemática con movimientos transpresivos con componente dextral, esta deformación del SMD coincide con los sistemas de fallas Bocono, San Sebastian and El Pilar (Costa et al., 2006), cuyos límites móviles forman parte de la placa del Caribe (Pérez & Aggarwal, 1981; Soulas et al., 1988; Segovia & Alvarado, 2009).

Para Ecuador, estas mega-estructuras sismogénicas indican una compleja tectónica, con altas tasas de deformación cortical; no obstante, la clasificación estructural y cinemática aún no han sido diferenciadas desde el punto de vista local. El presente estudio permitirá asociar los nudos sismogénicos con fallas capaces de deformar la superficie del terreno, clasificando preliminarmente las fallas activas de aquellas capaces. Las fallas capaces son aquellas que deforman la superficie del terreno como consecuencia de altas tasas de movimientos crustales y la generación de fuertes terremotos

con $M \geq 6$.

En las secciones posteriores se detallarán los métodos de análisis aplicables a Ecuador desde la información disponible, acotando que la información de eventos sísmicos es corta (1541 – 2010) y que muchas áreas son ausentes de terremotos históricos; tales proyecciones sismológicas y estructurales podrían considerar zonas de bajo nivel de sismicidad cuando la tectónica activa indicaría lo contrario y que potenciales fallas podrían corresponder a largos periodos de recurrencias sísmicas. El presente estudio pretende compilar descripciones geológicas, topográficas, morfológicas y gravimétricas, convirtiendo matemáticamente los datos en vectores combinados, los cuales serán codificados y discretizados para la identificación de nudos sismogénicos (intersecciones de fallas) capaces de generar terremotos corticales con $M \geq 6$ y $M \geq 6.5$, tal información permite la creación de un catálogo sintético de terremoto que podría complementarse con el corto catálogo de terremotos históricos para la elaboración de modelos de zonas sísmicas individualizando los altos niveles de sismicidad para Ecuador.

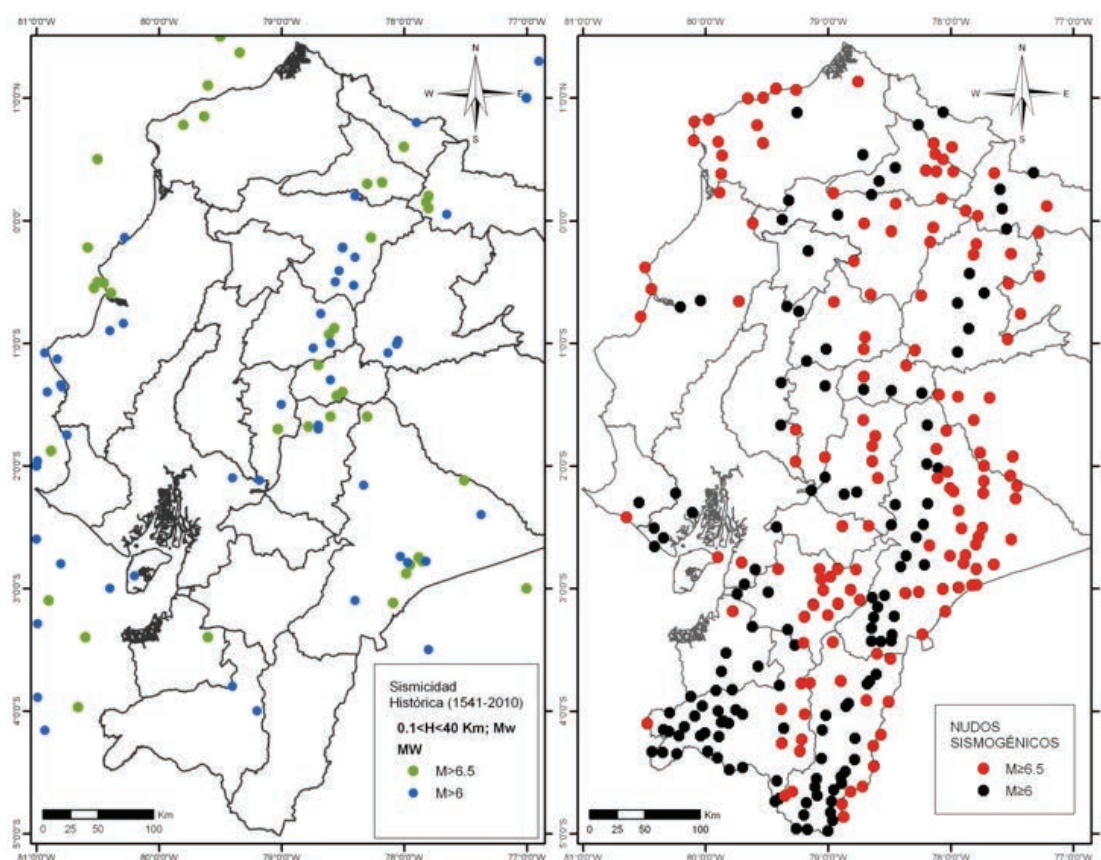


Figura 6.- Mapa de zonación morfo-estructural y su confrontación con los pocos datos de terremotos históricos. Izquierda, epicentros de terremotos históricos. Derecha, individualización de nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M \geq 6$ y $M \geq 6.5$.

Metodología de la Técnica "Pattern Recognition" de Zonación Morfo-estructural

En términos de predicción, una primera y simple respuesta es que fuertes terremotos pueden acaecer solamente en los lugares de una región sísmica en las cuales microsismos y sismos vienen registrados, como aquella propuesta por la ley de Gutenberg-Richter (ie. Keilis-Borok & Soloviev, 2003). Este principio viene a menudo contradicho en la práctica sismológica donde se han registrados terremotos históricos acaecidos sin precursores sísmicos (Wiemer & Wyss, 1994).

La predicción de dónde fuertes terremotos pueden generarse, puede encontrar una solución a través de la aplicación del método de "Pattern

Recognition" de Zonación Morfo-estructural (ie. Gorshkov et al., 1987, 1991, 2000; Gorshkov & Rantsman, 1982; Gvishiani & Soloviev, 1984; Gvishiani et al., 1984; Keilis-Borok & Soloviev, 2003; Kosobokov, 1984). La subdivisión en zonas morfo-estructurales inicialmente ha sido proyectada por Gerasimov & Rantsman (1973) en modo de identificar potenciales zonas sismogénicas. Gelfand et al. (1973) aplican este método a las regiones montañosas de Pamirs (Tagikistan) y Tien Shan (China). Sucesivamente, Alexeevskaya et al. (1977), Rantsman (1979) y Gvishiani et al. (1988) desarrollaron técnicas para las zonas morfo-estructurales, incluida una corrección en la técnica "Pattern Recognition". La zonación morfo-estructural correlaciona los datos morfológicos con información disponible sobre las estructuras geológicas y de los modelos tectónicos.

Tabla 2. Parámetros morfo-estructurales de discretización obtenido en este estudio desde la aplicación de la técnica "Pattern Recognition".

Parámetros	Umbral de discretización	
Máxima altitud, Hmax	1237	2877
Mínima altitud, Hmin	213	812
Mínima distancia (ℓ) entre los puntos Hmax y Hmin	17	
Contraste altitudinal en el relieve, ΔH = Hmax - Hmin	908	1900
Pendiente, ΔH / ℓ	55	110
Combinación de dominantes formas topográficas, Mor	1	4
Porcentual de depósitos Plio-Cuaternarios, Q	0	15
Máxima anomalía de Bouguer, Bmax	-90	
Mínima anomalía de Bouguer, Bmin	-150	
Desgravación de energía, ΔB = Bmax - Bmin	40	
Principal valor de la anomalía de Bouguer, Bm = (Bmax + Bmin) / 2	-155	-55
"Free-air anomaly", HB = 0.1Hmax + Bmin	54	120
Más alto rango de lineamiento cercano al nudo, RL	0	2
Número de lineamientos en el nudo, nL	2	
Distancia desde el nudo al más cercano lineamiento de primer rango, r1	1	21
Distancia desde el nudo al más cercano lineamiento de Segundo rango, r2	50	124
Distancia desde el nudo a la más cercana intersección, r=	10	15
El parámetro Mor, es igual a uno de los siguientes seis valores de acuerdo con la morfología dentro de cada nudo:		
1. Separada por un valle longitudinal y por montañas, (m/m) 2. Contacto entre Montaña y planicie de piedemonte, (m/p) 3. Contacto entre Montaña y colinas de piedemonte, (m/pd) 4. Contacto entre montaña, colinas de piedemonte, y planicie de piedemonte, (m/pd/p) 5. Contacto entre planicies de piedemonte, (p/p) 6. Contacto entre colinas de piedemonte y planicies de piedemonte, (pd/p)		

En este estudio, el desarrollo metodológico de la técnica “*Pattern Recognition*” de zonación morfo-estructural, comprende dos fases. La primera, el análisis de nudos estructurales (intersección de sistemas de fallas), los cuales han sido delineados por el método de zonación morfo-estructural. En la segunda fase, se define el potencial sísmico de cada nudo evaluando las descripciones geológicas, morfológicas, topográficas y gravimétricas, tales descripciones son convertidas en vectores binarios y posteriormente son codificados y discretizados a través de la aplicación del algoritmo “*Pattern Recognition*”, software CORE 3. En adelante, nosotros reportamos solamente las definiciones básicas necesarias para facilitar la lectura de este artículo.

Identificación de nudos estructurales desde análisis morfológicos

Los nudos estructurales son delineados por el método “*Pattern Recognition*” de zonación morfo-estructural, el cual está basado sobre el concepto de que la litosfera es construida por bloques de diferentes escalas y éstas a su vez son separadas por límites móviles. Estos límites móviles son definidos en geología como fallas activas o capaces.

Para la zonación morfo-estructural, el territorio es dividido en un sistema de áreas ordenadas jerárquicamente por escala, caracterizada por la homogeneidad de la presente topografía y de las dominantes estructuras tectónicas expresadas en el terreno. Tres tipos de morfo-estructuras son distinguidas por zonación morfo-estructural: (1) bloques de diferentes escalas, (2) zonas delimitando los bloques llamados lineamientos, y (3) sitios donde las zonas de límites son interceptadas, llamadas nudos estructurales (ver, Figura 5).

En el área de estudio, la topografía es principalmente analizada en término de su morfometría, definiendo los siguientes rasgos topográficos, tales como: (a) elevación, orientación y pendiente de la topografía, (b) redes de drenaje

y sus variaciones estructurales, (c) elementos lineales de la superficie del terreno, tales como segmentos rectilíneos de ríos, incisiones profundas, escarpadas, entre otras visible a las imágenes satelitales y modelos digitales del terreno.

En el caso de Ecuador, la zonación morfo-estructural es ordenada jerárquicamente en bloques de diferentes escalas y sus zonas limitantes son asignadas como lineamientos de primer a tercer orden (Figura 5). Desde un punto de vista de la orogénesis, la estructura regional como las cadenas montañosas de los Andes, son consideradas como la unidad de más alta jerarquía siendo definida como de primer rango; en zonación morfo-estructural son llamadas “*mountain countries*”. Esta unidad es, a su vez, están divididas en otras de segundo rango llamadas “megabloques”. Estos “mega-bloques”, son subdivididos a su vez en áreas de tercer rango, llamados bloques. Los bloques colindantes deberían diferir estructuralmente por lo menos en una de las tres características consideradas de la topografía actual.

Las zonas limitantes son de primer, segundo o tercer rango de jerarquía, dependiendo del orden de su estructura o escala dominante, respectivamente. Con respecto a la tendencia regional de las estructuras tectónicas y topografía, dos tipos de zonas limitantes son distinguidas para cada orden: (1) lineamientos estructurales longitudinales, y (2) lineamientos estructurales transversales. Los lineamientos transversales son aproximadamente paralelos a la tendencia regional de las estructuras tectónicas y de la topografía que incluye largos segmentos de fallas activas y capaces. Lineamientos transversales interceptan la tendencia regional de las estructuras tectónicas y de la topografía. Estas últimas aparecen sobre la superficie del terreno como discontinuas y son representadas por escarpes tectónicos, por segmentos rectilíneos de redes fluviales y parcialmente por fallas geológicas.

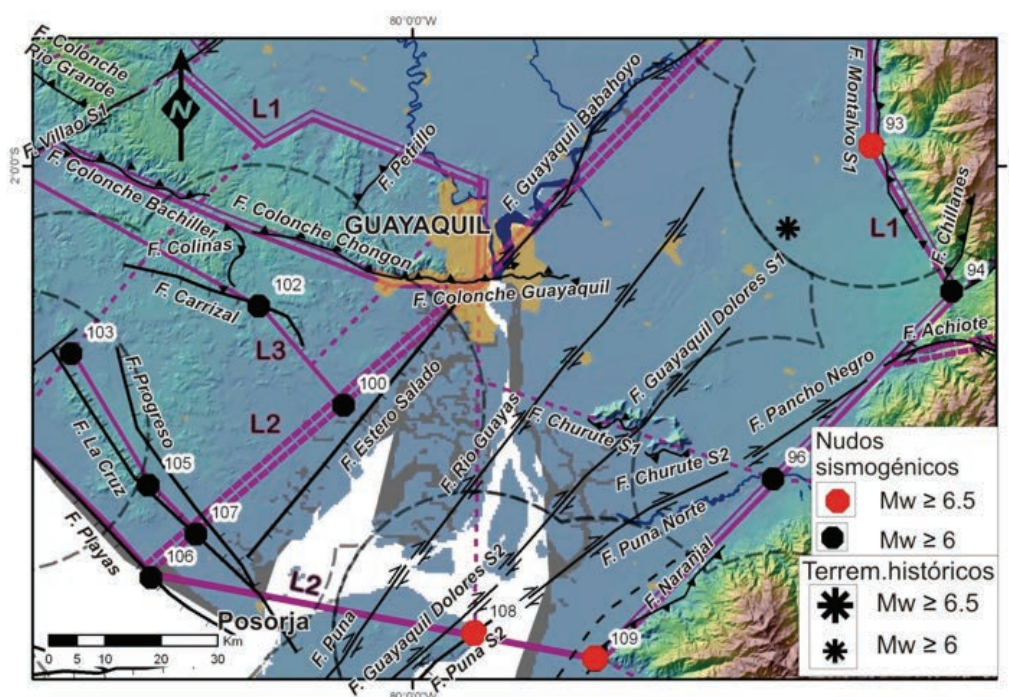


Figura 7.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a la ciudad de Guayaquil.

Reconocimiento de Nudos Sismogénicos desde nudos estructurales

En un contexto metodológico, el primer procedimiento de análisis es dividir los nudos estructurales en dos clases: nudos donde terremotos con $M \geq 6.5$ pueden acontecer (clase D) y nudos donde tales magnitudes de

terremotos no pueden generarse (clase N). Usando la información documentada en el catálogo de terremotos crustales y proyectando los datos disponibles en un área de 25 Km de radio, hemos individualizados preliminarmente los nudos D (o clase D). Cada nudo describe los parámetros topográficos, geomorfológicos, gravimétricos y geológicos.

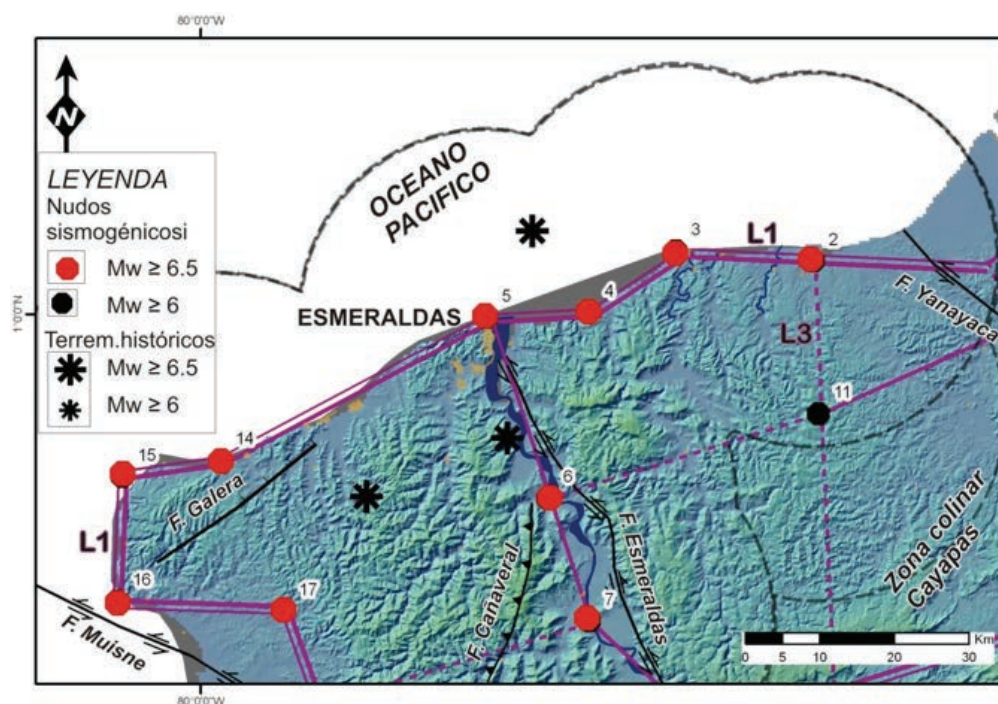


Figura 8.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a la ciudad de Esmeraldas.

Los valores de cada parámetro son representados como vectores que pueden ser asociados a cada nudo estructural. Estos valores son clasificados en clases D y N usando la técnica "Pattern Recognition", que es definida desde el algorítmico CORA-3 (ie. Gorshkov et al., 2002).

El algoritmo selecciona los rasgos característicos D y N para las clases D y N, usando los modelos iniciales de Do (desde D) y No (desde N). Cada rasgo característico de los nudos incluye uno, dos o tres componentes con sus respectivos valores de distribución espacial (ie. Gorshkov et al., 2002). En esta fase de clasificación, el algoritmo cuenta los números de rasgos D y N (n_D y n_N , respectivamente) que cada nudo posee y le asigna a la clase D si $n_D - n_N \geq \Delta$ o a la clase N si $n_D - n_N < \Delta$, donde Δ es un parámetro del algoritmo.

Los rasgos característicos para cada clase D y N han sido seleccionados, donde, L es el número de los componentes de los vectores binarios que representan el nudo estructural. Los rasgos de la matriz A es definida como:

$$A = \begin{bmatrix} i_1 & i_2 & i_3 \\ \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 \end{bmatrix}$$

Donde i_1, i_2, i_3 , son números naturales, tales como $1 \leq i_1 \leq i_2 \leq i_3 \leq 1$ y $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ son igual a 0 o 1. En este estudio los nudos (vectores binarios) son enumerados como (i):

$$w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_i)$$

Y tienen una característica A de,

$$w_{i1} = \delta_1, w_{i2}, w_i = \delta_2, w_{i3}, w_{i3} = \delta_3$$

Los rasgos característicos han sido seleccionados usando cuatro parámetros del algoritmo:

$$k_1, (k_1), k_2, (\overline{k_2}).$$

El valor W es el conjunto de todos los nudos considerados en el análisis y K (W, A) el número de los nudos $w_i \in W$, el cual tiene un rasgo A. El rasgo A es un rasgo característico de la clase D si $K(D, A) \geq k_1$ e $K(N, A) \leq (\overline{k_1})$, y el rasgo A es un rasgo característico de la clase N si $K(N, A) \geq k_2$ e $K(D, A) \leq (\overline{k_2})$.

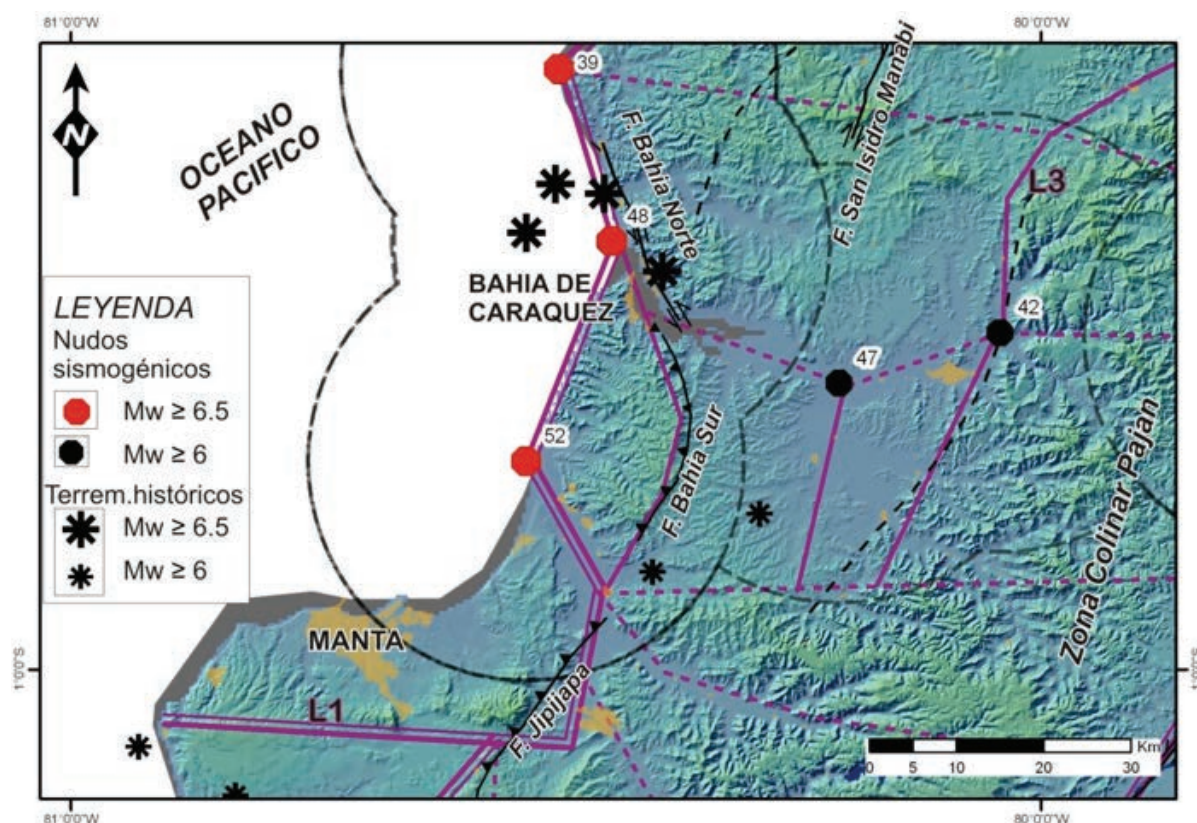


Figura 9.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a las ciudades de Manta y Bahía de Caráquez.

La clasificación subsecuente es, para cada nudo w_i el número nD de los rasgos característicos de la clase D , el número nNi de los rasgos característicos de la clase N , y la diferencia $\Delta_i = nDi - nNi$ es calculada. D incluye los nudos w_i , para el cual $\Delta_i \geq \Delta$. Los nudos en el cual $\Delta_i < \Delta$ se le ha asignado a N . Δ , así como $k1, (k1), k2$, e $(k2)$ es un parámetro del algoritmo.

Aplicando el algoritmo "Cora-3", es necesario convertir las descripciones geológicas, topográficas y gravimétricas en vectores binarios para subsecuentemente poder codificar y discretizar la información. En matemáticas, discretización se refiere al proceso de la transferencia continua de modelos y ecuaciones en discretas contrapartes, y a la transformación de continuas ecuaciones diferenciales, conveniente para el cálculo numérico.

El valor de cada parámetro es dividido en dos o tres segmentos para especificar uno o dos umbrales de la discretización. Este procedimiento permite la pérdida de información, sin embargo se obtiene el resultado del reconocimiento más estable a la incertidumbre de datos; en un umbral de dos intervalos de discretización, se considera para el componente real, el cual se convierte en un componente binario con el valor 11 ("pequeño"), 01 ("medio") o 00 ("grande").

En este estudio, los parámetros utilizados en el proceso de reconocimiento, de los rasgos característicos y correspondientes a los umbrales de discretización, son indicados en la tabla 1. Por consiguiente, los nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M_w \geq 6$ han sido identificados con el algoritmo $k1=13, (k1=1), k2=16, (k2=0)$, mientras para los nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M_w \geq 6.5$ fueron identificados con el algoritmo $k1=15, (k1=2), k2=11, (k2=0)$.

Mapa de Zonación Morfo-estructural para la región costera, andina y subandina del Ecuador.

El mapa morfo-estructural ha sido creado en una plataforma GIS a escala 1:500.000 para las cadenas colinares de la región Litoral y sectores menores subandinos, a escala 1:750.000 para la prominente cadena montañosa de los Andes de Ecuador; basados en múltiples análisis de mapas topográficos y tectónicos, fotos satelitales y modelos de elevaciones digitales (DEM). El mapa elaborado en este estudio, representa: (1) estructuras en bloques de diferentes escalas, (2) lineamientos que delimitan los diversos bloques, y (3) los nudos estructurales donde los lineamientos son interceptados.

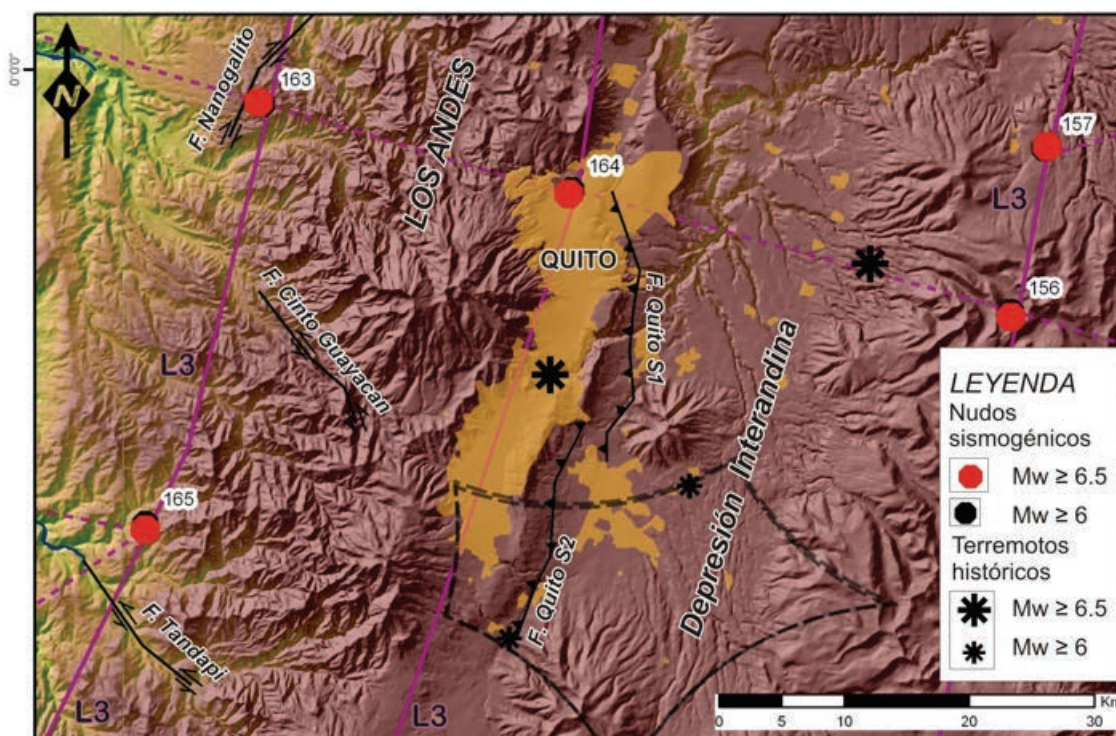


Figura 10.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a la ciudad de Quito.

Los lineamientos morfo-estructurales de primer orden han sido delimitados para las grandes regiones tectónicas que incluyen las cadenas colinares costeras, la cadena montañosa de los Andes y los bordes estructurales de la zona subandina que delimitan la cuenca de retroarco (definida también como cuenca de antepaís) de la Amazonía ecuatoriana.

Desde el Oeste al Este, la cuenca de antearco de la región costera, en el sector del Estero Salado (estuario interior del Golfo de Guayaquil), los nudos 95-96-108-109 son asociados a sistemas de fallas transcurrente con desplazamientos dextrales, mientras los nudos 97-100-107 son asociados a los movimientos transtensivos de la falla Estero Salado.

Los sistemas colinares costeros Chongón Colonche, Paján, Cojimies y Cayapas son caracterizados por lineamientos de primer y tercer orden. Los nudos individualizados en este segmento costero son representados en la Figura 5.

En la región de los Andes central y septentrional de Ecuador (regionalmente, los Andes en el Ecuador son considerados parte de los Andes septentrionales que atraviesan también Colombia y Venezuela) la depresión tectónica Interandina es delineada por lineamientos de tercer orden de jerarquía mientras los nudos morfo-estructurales 156-157-159-160-164-167-168-172-174-178-179-180-192 son asociados al Sistema Mayor Dextral (SMD) de régimen tectónico transcurrente con componente inverso (ver Figura 50-53). Otros nudos, ie. 142-149-151-152-158 trazan la continuación del SMD hacia el NE, frontera con el territorio de Colombia.

En confrontación con los otros bloques individualizados en la región de los Andes central y septentrional, la estructura en bloque es muy compleja en la región meridional de los Andes (Sur de Ecuador) delimitando segmentos de bloques de menores escalas. Los análisis topográficos y morfológicos, en detalle, al interior de esta región han permitido identificar una serie de lineamientos de tercer orden delimitado por un principal

lineamiento de segundo orden de jerarquía. La concentración de los nudos identificados en esta investigación, permiten asumir asociaciones con un mega sistema de fracturas que delimitan este segmento de los Andes (a nivel regional, ie. Proto-Andes) con características estructurales diferentes a los Andes septentrionales (tendencia estructural SO-NE para Ecuador, Colombia y Venezuela) de los Andes Meridionales (tendencia estructural NO-SE para Perú).

Al Sur de Ecuador, esta división es denotada por un lineamiento transversal de primer orden y trazada por los nudos 95-187-188-195-196.

La región septentrional subandina, delimita al Este con la cuenca Amazónica de dominio de retroarco, está caracterizada por lineamientos de primer orden trazada desde los nudos 301, 302, 305, 308, 310, 312 (ver, Figuras 56-60). Mientras, la región meridional subandina se divide por un lineamiento de segundo orden proyectado por los nudos 312-319-320-329-330-337-348. Esta región está asociada principalmente a un régimen transpresivo que se ajusta bastante a la distribución longitudinal de varios sistemas de fallas inversas con tendencia de inmersión hacia el W.

Las tendencias estructurales de los sistemas de fallas son confrontables con los 367 nudos (estructurales) identificados en el territorio continental del Ecuador, existen características morfológicas obtenidas en este estudio que pueden permitir la definición de los segmentos de algunas fallas señalizadas por Eguez et al. (2003, Mapa de fallas activas del Ecuador) como estructuras continuas de grandes longitudes y capaces de generar fuertes terremotos corticales.

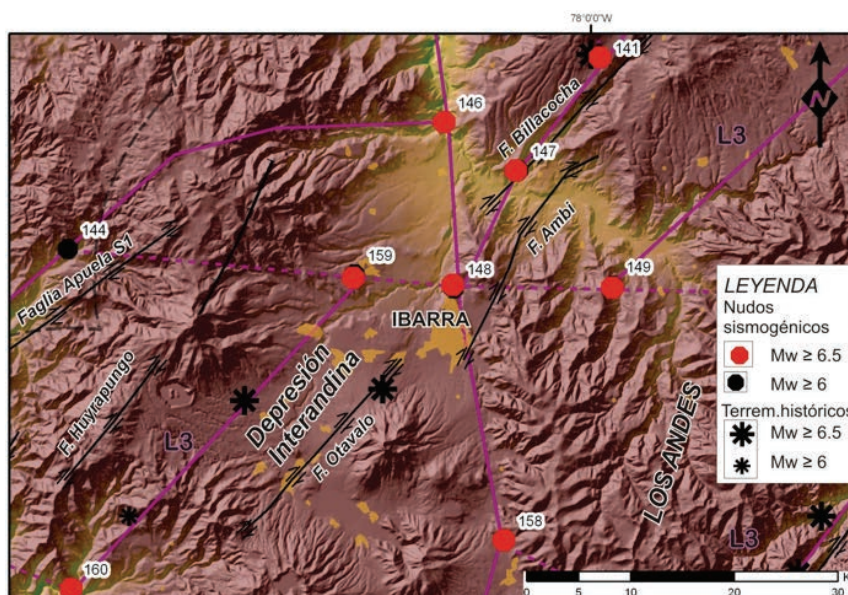


Figura 11.- Mapa de nudos sismogénicos cercano a la ciudad de Ibarra.

Discusión de resultados obtenidos a través del método "Pattern Recognition"

Con lo descrito en las secciones precedentes, los nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M \geq 6$ y $M \geq 6,5$ han sido identificados mediante la técnica "Pattern Recognition" de zonación morfo-estructural. Las descripciones de datos sismológicos, geológicos, geofísicos, topográficos y morfológicos han sido diferenciados en un área de 25 km de radio para cada nudo de los 367 identificados.

Esta dimensión es comparable con el tamaño de la fuente sísmica, la geometría y la cinemática de

la estructuras sismogénicas. Michetti et al. (2007), Serva (1994), Serva et al. (2007), Vittori et al., 2005, y Well & Copermish (1994) estiman que la dimensión de la fuente sísmica capaz de generar un terremoto crustal con $M_w = 6$ o $VII \leq I \leq IX$ debería por lo menos tener una distribución espacial de aproximadamente 20 Km de largo y 10 Km de ancho. Esta definición asume que cada punto de los lineamientos interceptados es un nudo (ie., zona de fallas), y para estructuras más grandes localizadas en algunas regiones de los Andes, dos o más nudos contiguos a las intersecciones podría pertenecer a una misma estructura sismogénica capaz de generar sismos de mayores magnitudes.

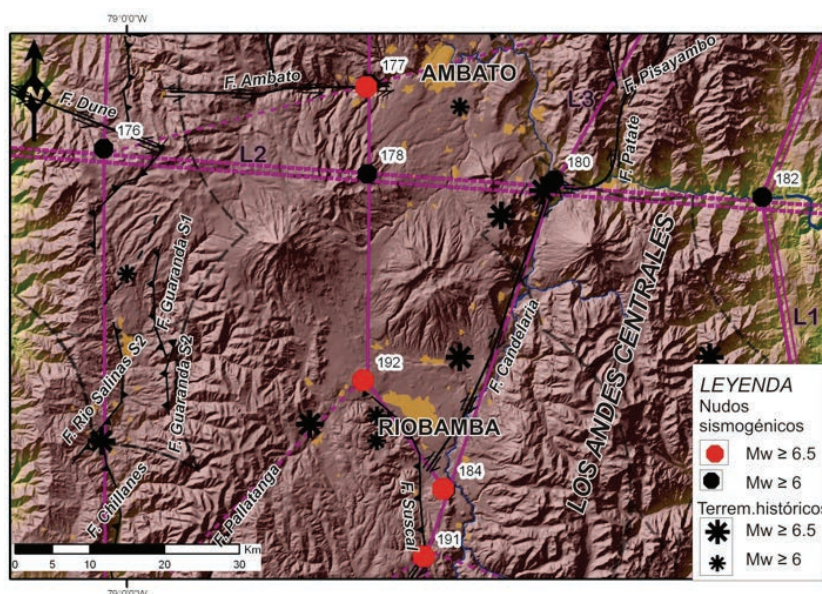


Figura 12.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a las ciudades de Ambato y Riobamba.

Nudos sismogénicos con $M \geq 6$

En la región costera, los nudos sismogénicos que podrían generar sismos con $M \geq 6$ son asociados en su mayoría a los lineamientos de primer orden, a excepción de la región de Esmeraldas (zona costera N de Ecuador), en donde su tectónica activa es muy compleja, asociándose a lineamientos de tercer orden.

Desde el punto de vista del peligro sísmico, algunos de los nudos identificados están próximos a ciudades densamente pobladas, como Guayaquil, Manta, Bahía de Caráquez,

y Esmeraldas (todas perteneciente a la región Litoral); Ibarra, Quito, Latacunga, Ambato, Riobamba, Cuenca y Loja (todas perteneciente a la región de los Andes); y además ciudades como: las ciudades de Taisha, Tena, Puyo y Lago Agrio (todas perteneciente a la región subandina y a la cuenca de retroarco).

Guayaquil, la ciudad ecuatoriana más poblada con aproximadamente 2.582.585 de habitantes, estaría afectada por los nudos sismogénicos 100-102, cada uno asociado a un régimen estructural distensivo representado por la tectónica activa de las fallas Estero Salado y Carrizal.

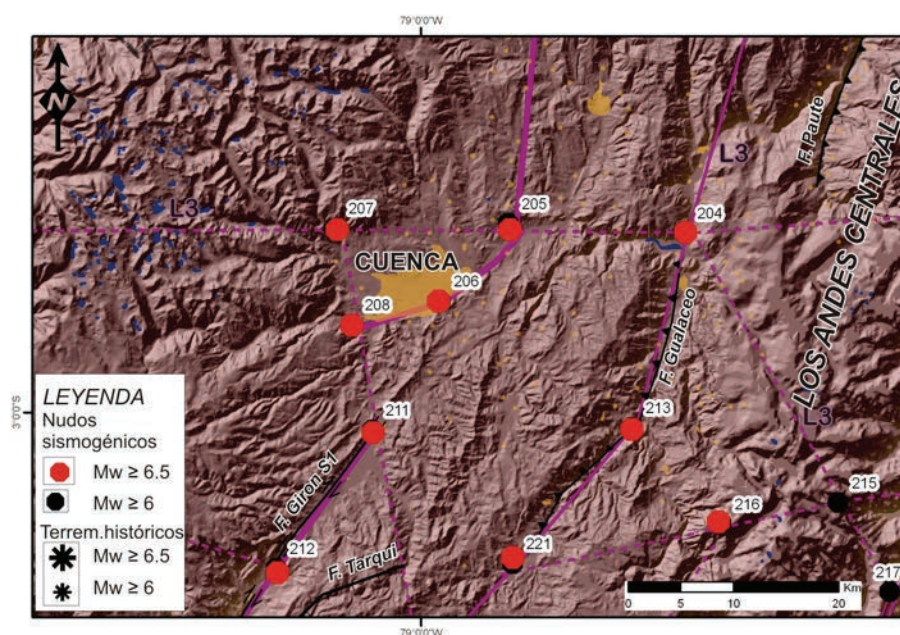


Figura 13.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a la ciudad de Cuenca.

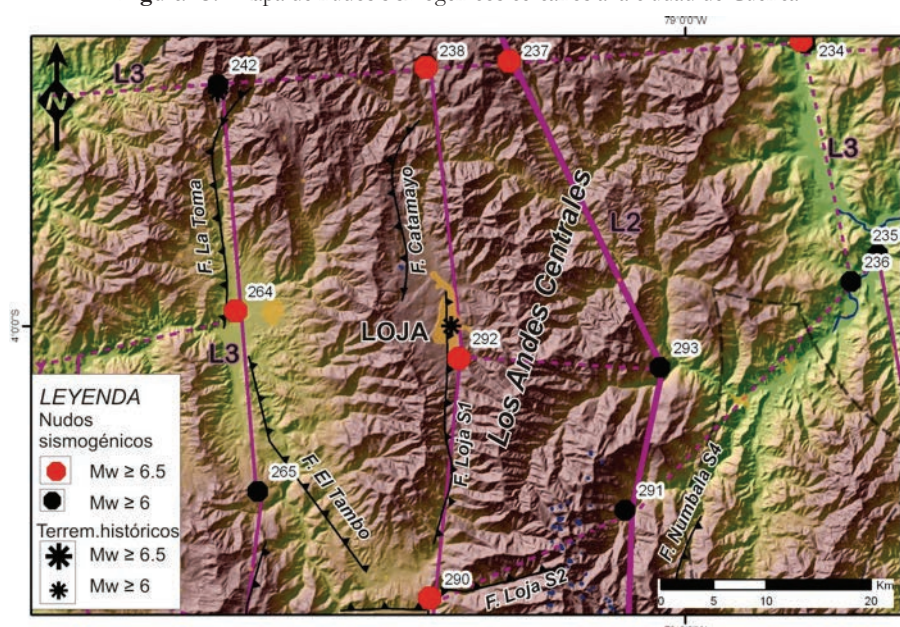


Figura 14.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a la ciudad de Loja.

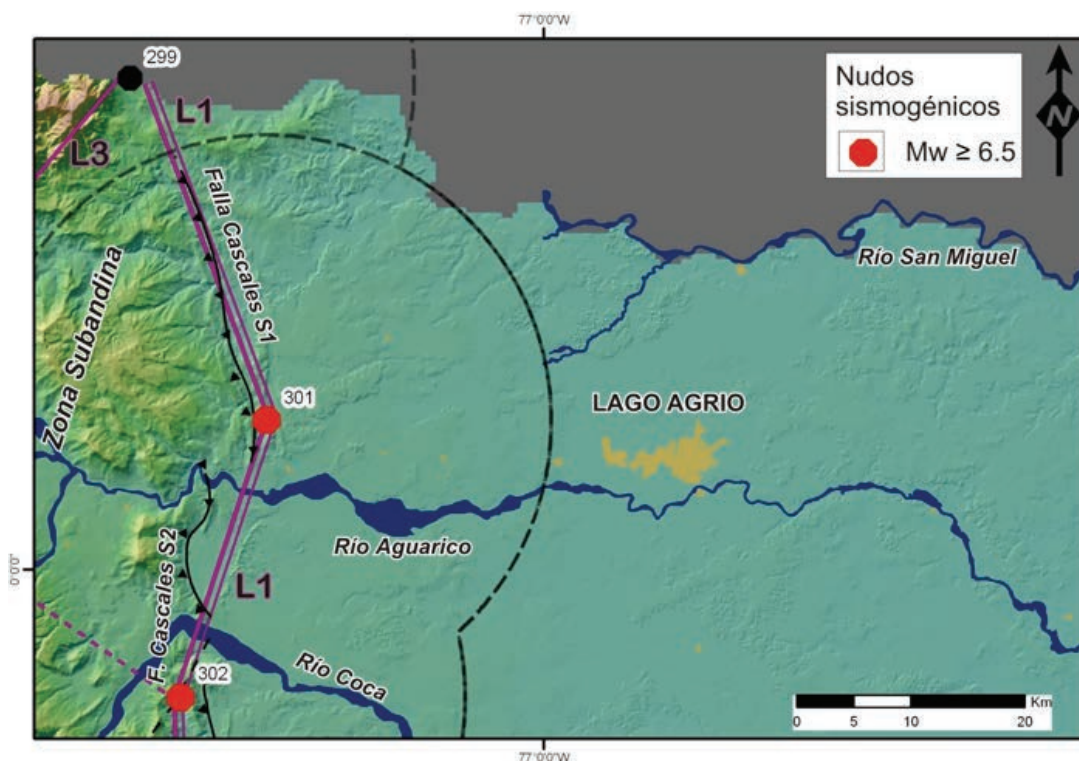


Figura 15.- Mapa de nudos sismogénicos cercanos a la ciudad de Lago Agrio.

La ciudad de Manta y Bahía de Caráquez están afectadas por los nudos 39-48-52, asociados con un régimen tectónico complejo de movimientos transpresivos y desplazamientos laterales transcurrentes sinestrales, así también los sistemas de fallas de Bahía de Caráquez; sin embargo estos nudos también pueden ser también asociados, en su génesis, con la cinemática de la zona de subducción y a la colisión convergente del alto batimétrico de "Carnegie".

A nivel local, la ciudad de Esmeraldas es afectada por los nudos sismogénicos 4-5-6, delineados a lo largo del río de mismo nombre. En esta región, la caracterización de las fallas capaces aún no se ha completado, sin embargo, las evidencias morfológicas en el terreno pueden ser usadas como niveles de certeza durante un análisis de peligrosidad sísmica.

En los Andes septentrionales, la depresión tectónica interandina es delimitada por lineamientos de tercer orden. Desde el Norte al Sur, la ciudad de Ibarra es afectada por las cercanías de los nudos 146-147-148-149-159; estos nudos son asociados a un régimen tectónico combinado de desplazamientos horizontales dextrales y transpresivos expresados en los sistemas de fallas "Ambi", "Otavalo" y "El Angel".

En Quito, la capital de Ecuador, los sistemas de fallas combinadas son similares a la descritas para el área de Ibarra, la diferencia está en el componente del riesgo sísmico, siendo sus principales estructuras sismogénicas son, la falla "Nanogalito" (asociada al nudo 163), el sistema de falla segmentada de "Quito" (asociada al nudo 164), la falla "Machachi" (asociada al nudo 167) y la falla "Tandapi" (asociada al nudo 165). Los otros nudos individualizados para esta área (156-157-160) no han podido ser asociados a fallas cartografiadas, sin embargo son indicadores de potenciales fallas ocultas ("buried faults").

Al Sur de la depresión interandina, la ciudad de Latacunga estaría afectada por los nudos 173-174, asociada al sistema de fallas inversas "Paolo"; mientras la ciudad de Ambato incrementa su riesgo sísmico por su cercanía al nudo 177 circundante a la falla "Ambato".

La ciudad de Riobamba se ve afectada por dos estructuras sismogénicas: (1) la falla de "Guamote" (cercana al nudo 191) y (2) la falla "Candelaria" (circundante al nudo 184). No fue posible asociar el nudo 192 a una activa estructura cartografiada. Históricamente, esta área se vio afectada por el terremoto de Riobamba en 1797 con intensidad macrosísmica en el área epicentral de $I^{\circ}=X-XI$

(MM). Existe incertidumbre en confirmar la falla capaz que generó este mega-evento sísmico, sin embargo podemos argumentar que el alto nivel

de sismicidad presente es debido a su posición dentro de la franja de deformación del "Sistema Mayor Destrál".

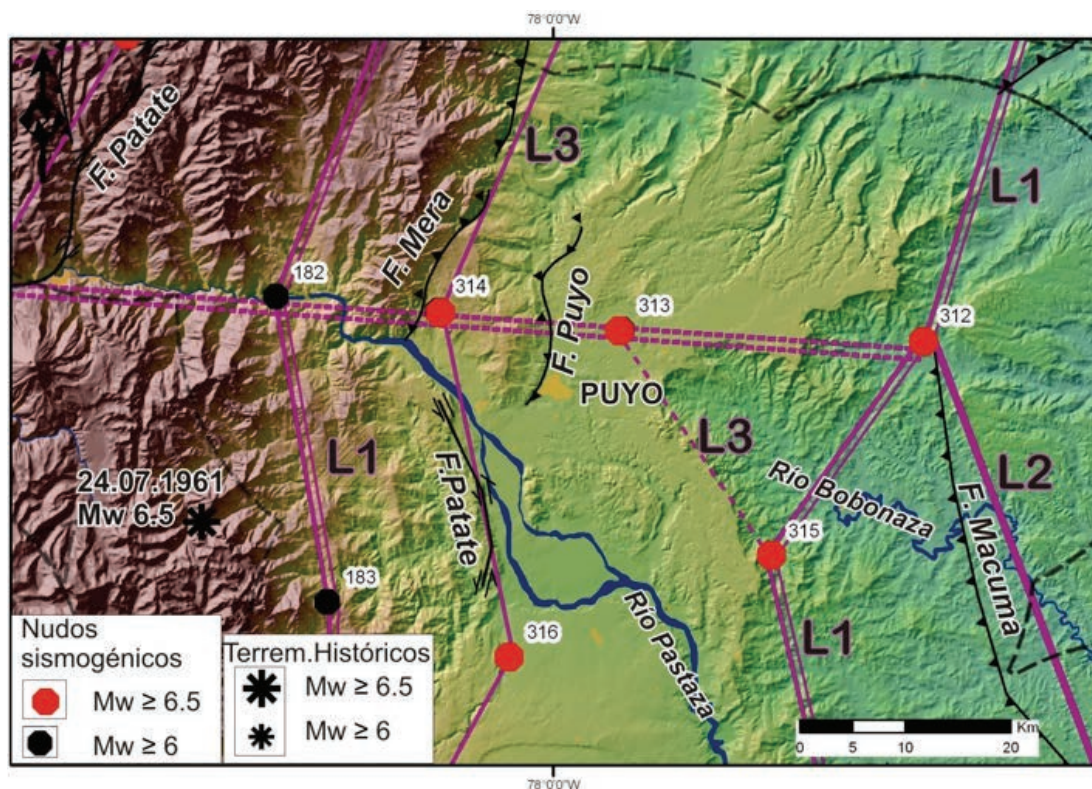


Figura 16.- Mapa de nudos sismogénicos cercano a la ciudad de Puyo.

En la región del Azuay, ciudad de Cuenca, la caracterización tectónica no está bien definida para estimar las máximas magnitudes asociables a fallas capaces, no obstante, la técnica "Pattern Recognition" ha individualizado los nudos sismogénicos 204-205-206-207-213-221 que podrían ser indicadores de áreas críticas. La proyección espacial de los nudos es confrontable con fallamientos superficiales en el terreno, los cuales han sido documentados por la prensa local y ausente en el mapa de fallas activas de Ecuador (ie. Eguez et al., 2003).

Más hacia el Sur, la ciudad de Loja estaría afectada por los nudos sismogénicos 242-264 posiblemente asociados a la falla "La Toma", el nudo 255, asociado a la falla "Tambo", el nudo 236 asociado a la falla "Catamayo", y los nudos 290-292 asociados a las fallas segmentadas de "Loja". Estos sistemas de fallas segmentadas son asociados a un régimen tectónico combinado con desplazamientos horizontales inversos y laterales destraes.

En el sector subandino, la ciudad de Taisha estaría afectada por los nudos sismogénicos 329-330, asociados a sistemas de fallas inversas; mientras la ciudad de Puyo estaría afectada por los nudos 313-314 asociados a los sistemas paralelo a los lineamientos del sistema de "Puyo". La ciudad de Tena estaría afectada por la proximidad a los nudos 309-311. Todas estas fallas pertenecen a un régimen tectónico de compresión y están formadas por fallas segmentadas de corrimiento con tendencia hacia el Este.

Al interior de la cuenca de antepaís, la ciudad de Nueva Loja no evidencia cercanía con nudos sismogénicos, a excepción el nudo 301 localizado a 30 Km al Este, y que está asociado al sistema de la falla de corrimiento de "Cascales".

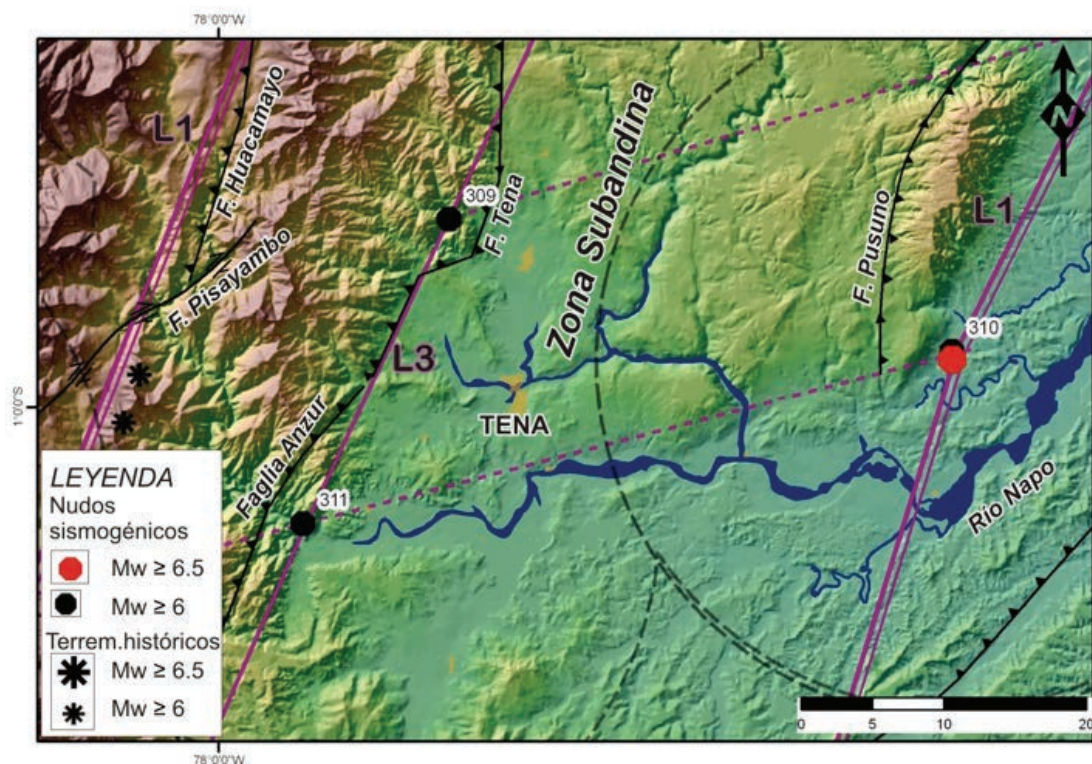


Figura 16.- Mapa de nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M \geq 6$ y $M \geq 6.5$, cercano a la ciudad de Tena.

Nudos sismogénicos con $M \geq 6.5$

En cuanto a los nudos sismogénicos capaces de generar terremotos corticales con $M \geq 6.5$, la ciudad de Guayaquil estaría afectada regionalmente por el sistema de fallas transcurrentes de desplazamientos destrales donde están localizados los nudos sismogénicos 108-109, al Norte de la isla Puná y de la cuenca subsidente de Jambelí, y los nudos 92-93, localizados en el límite Noreste, entre la llanura costera de la cuenca baja del Guayas y el flanco Oeste de los Andes occidentales.

Las ciudades de Manta y Bahía de Caráquez estarían afectadas por los nudos 52-39-48, asociados a dinámica y colisión de la cordillera de Carnegie contra el Bloque Nor-Andino, sin embargo las fallas segmentadas de Bahía de Caráquez son también próximas a los nudos identificados. La ciudad de Esmeraldas estaría afectada por los nudos 5-6-7, cercanas a las fallas "Esmeraldas" y "Buga", otros nudos como el 3-4 también están próximos a la ciudad.

En el sector septentrional de la depresión Interandina, la ciudad de Ibarra estaría afectada por los nudos 147-148-149 asociados a las

estructuras sismogénicas de "Otavalo", "Río Ambi" y "el Ángel"; mientras más al Sur, en la ciudad de Quito estaría asociada al segmento Norte de la falla "Quito" y al nudo 164; la ciudad de Latacunga estaría afectada por los nudos 173 y 174, cercana a la falla "Paolo"; el nudo 177 estaría localizado próximo a la falla "Ambato"; la ciudad de Riobamba estaría afectada por los nudos 184-191-192, contiguos a las estructuras "Candelaria" y "Suscal".

En los Andes occidentales y centrales, la ciudad de Cuenca estaría afectada por una serie de nudos sismogénicos 205-206-207-208, sin embargo esta área está subvalorada desde un punto de vista del peligro sísmico, debido a la ausencia de considerables eventos sísmicos, recordando que el corto rango de tiempo que tienen los registros de sismos históricos para el Azuay.

En el sector meridional de los Andes Centrales, la ciudad de Loja estaría afectada por los nudos 290-292 alineados a lo largo de la falla "Loja", la misma que tiene un régimen tectónico compresivo.

Para la región subandina, los nudos 329-330 están asociados a la falla inversa de "Taisha", mientras

que a la región de Puyo la afectarían los nudos 313-314. Las áreas en donde están asentadas las ciudades de Tena y Nueva Loja, no tendrían nudos sismogénicos capaces de generar fuertes terremotos como los establecidos en esta sección.

Concluyendo, el presente modelo "Pattern Recognition" de zonación morfo-estructural identifica para todo el territorio continental de Ecuador 273 nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M \geq 6$, y 143 nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M \geq 6.5$.

Conclusión

La compilación y clasificación de los datos sismológicos de Ecuador, junto con la revisión de datos geológicos, morfológicos, topográficos, gravimétricos, y estructurales permitieron construir una base de datos en plataforma GIS, la cual fue insertada en el software CORE 3 durante la aplicación de la técnica "Pattern Recognition" de Zonación morfo-estructural (modelo propuesto por Alekseevskaya et al., 1977).

La individualización de nudos sismogénicos capaces de generar terremotos corticales con $M \geq 6$ y $M \geq 6.5$ proporciona una herramienta fundamental para la determinación de potenciales áreas críticas con altos niveles de probabilidad de que terremotos de ciertas magnitudes puedan producirse al interior de un área específica. En detalle, para el territorio continental ecuatoriano, fueron identificados 273 nudos sismogénicos capaces de generar terremotos con $M \geq 6$ y 143 nudos capaces de generar terremotos con $M \geq 6.5$. El modelo de zonación morfo-estructural, que es el resultante del estudio, ha sido confrontando con el catálogo de fallas capaces, en especial donde los nudos sismogénicos son próximos a áreas densamente pobladas.

La confrontación de modelos de zonas sismogénicas propuestas por la RENSIG y Chunga (2010) determinan los ambientes tectónicos dominantes para cada zona, mientras que el propuesto modelo resultante de este estudio, determina diversos ambientes tectónicos al interior de una misma zona.

Los modelos de zonas sismogénicas estiman para

cada zona la máxima magnitud asociada a partir del análisis de datos históricos e instrumentales, mientras el modelo de zonación morfo-estructural atribuye las clases Do y No de magnitudes $M \geq 6$ y $M \geq 6.5$ para cada nudo al interior de una misma zona que depende de los rasgos característicos de los vectores binarios.

Referencias bibliográficas

Alekseevskaya M.A, Gabrielov A. M., Gvishiani A. D., Gelfand I. M., and Ranzman E. Ya (1977). *Formal Morphostructural zoning of mountain territories*. J. Geophys., 43: 227–23

Baldock, J.W. (1983), *The Northern Andes: A review of the Ecuadorian Pacific Margin*, in *The Oceans Basins and Margins*, edited by A. E. M. Nairn, F. G. Stehli, and S. Uyeda, Plenum Press, New-York and London, 181–271.

Baldock, J.W., 1982. *Geología del Ecuador: Boletín de la explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador*, Esc. 1:1,000,000. Min. Rec. Nat. Energ., Quito, 10., Quito.

Barberi F., Coltelli M., Ferrara G., Innocenti F., Navarro J., Santacroce R. (1988). *Plio-Quaternary volcanism in Ecuador*, Geol. Mag., 125, 1–14.

Cahuari A. (2006). *Análisis estadístico del Mo a partir de la Magnitud local (MI)*. Compendio de trabajos de Investigación CNDG-Biblioteca. Instituto Geofísico del Perú. V.7, p. 27-42.

Chunga K. (2010). *Shallow crustal earthquakes and seismic zonation for Ecuador through the integration of geological, seismological and morphostructural data*. University of Insubria. Ph.D. Thesis, p. 165.

Chunga K., Michetti A.M., Pazmiño N., Martillo C., Romero A., Quiñonez M., Gruppo di Geologia Ambientale (2009). *Estimación de máximos niveles de sismicidad para el litoral ecuatoriano a través de la integración de datos geológicos, sismológicos y sismotectónicos*. Revista Internacional Oro y Petróleo (N.- 19) 46-57 p.

Chunga K., Michetti A.M. (2008). *Análisis de riesgo sísmico local para la ciudad de Guayaquil: aplicación de datos geológicos cuaternarios*. Revista Internacional Oro y Petróleo (No. 17) 70-73

Chunga K., Zamudio Y., Egred J., Marín G., Quiñónez M., Iturralde D. (2005a). *The 12 Dic, 1953, Earthquake, Ms 7.3, Ecuador-Peru Border Region: A case study for applying the New INQUA Intensity Scale Abstract Vol. Dark Nature - Rapid natural Change and Human Responses, Final Meeting of the Dark Nature Project, Como, Italy, p. 57-58. Dark Nature Project.*

Chunga K., León C., Quiñónez M., Benítez S., Montenegro G. (2005b). *Seismic Hazard Assessment for Guayaquil City (Ecuador): Insights from Quaternary Geological Data. Abstract Vol. Dark Nature - Rapid natural Change and Human Responses, Final Meeting of the Dark Nature Project, Como, Italy, p. 55-56. Dark Nature Project.*

CERESIS (1985). *Catalogo de terremotos para America del Sur. Datos de hipocentros e intensidades. Ecuador. 6.*

Cobos L., Montenegro G. (2010). *Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del Mioceno al reciente. Revista CICYT-ESPOL, 1-8.*

Costa C.H., Audermard M. F.A., Bezerra, F.h.r., Lavenu, A., Machette M.N. and Paris, G. (2006). *An Overview of the Main Quaternary Deformation of South America. Asoc. Geol. Argent. v.61 n.4 Buenos Aires oct/dic.*

Deniaud Y., Baby P., Basile C., Ordonez M., Montenegro G., Mascle G. (1999). *Opening and tectonic and sedimentary evolution of the Gulf of Guayaquil: Neogene and Quaternary fore-arc basin of the south Ecuadorian Andes. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Serie II A-Earth and Planetary Sciences 328 (3), 181-187.*

Dumont J.F., Santana, E., Valdez F., Tihay J.P., Usselman P., Iturralde D., Navarrete E. (2006). *Fan beheading and drainage diversion as evidence of a 3200-2800 BP earthquake event in the Esmeraldas-Tumaco seismic zone: A case study for the effects of great subduction earthquakes. Geomorphology 74, 100-123.*

Dumont J.F., Santana, E., Vilema, W., Pedoja, K., Ordoñez, M., Cruz, M., Jimenez, N. and Zambrano, I. (2005). *Morphological and microtectonic analysis of Quaternary deformation from Puna and Santa*

Clara Islands, Gulf of Guayaquil, Ecuador (South America), Tectonophysics. 399, 331-350.

Ego F., Sebrier M., Carey-Gailhardis E., Beate B. (1996a). *Do the Billecocha normal faults (Ecuador) reveal extension due to lithospheric body forces in the northern Andes? Tectonophysics 265, 255-273.*

Ego F., Sebrier, M., Lavenu, A., Yepes, H., and Eguez, A. (1996b). *Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. Tectonophysics 259, 101-116.*

Egred J. (2002). *Historia sísmica del Ecuador. Información proporcionada por el Autor. Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional.*

Egred J. (1975). *Breve historia de los principales terremotos ecuatorianos. Revista Geofísica (México, D.F.), no.3, pp.21-36.*

Eguez A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M.N., Costa, C.H., Dart, R.L., and Bradley, L.-A. (2003). *Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions: U.S. Geological Survey Open-File Report 03-289.*

Feininger T., Seguin M.K. (1983). *Simple Bouguer gravity anomaly field and the inferred crustal structure of continental Ecuador. Geology, v. 11, p. 40-44.*

Freymueller J., Kellogg J.N., Vega V. (1993). *Plate motions in the North Andean Region: Journal of Geophysical Research, v. 98, p. 21853-21863.*

Gelfand I. M., Guberman Sh. A., Zhidkov M.P., Kaletzkaya M. S., Keilis-Borok V. I., and Ranzman E. Ia. (1973). *Experience of high seismicity criteria transfer from the Central Asia onto the Anatolia and adjacent regions. Trans. (Doklady) Acad. Sci. SSSR, 210(2): 327+.*

Gerasimov I.P., Ranzman E. Ya. (1973). *Morphostructure of orogens and their seismicity. Geomorphology, 1: 3-13, (in Russian).*

Gorshkov A., Panza G.F., Soloviev A.A., Aoudia A. (2002). *Morphstructural Zonation and preliminary recognition of seismogenic nodes around the Adria Margin in Peninsular Italy and Sicily. JSEE: Spring, vol. 4, No. 1, 1-24.*

Gorshkov A. I., Kuznetsov I.V., Panza G. F., and Soloviev A. A. (2000). Identification of future earthquake sources in the Carpatho-Balkan orogenic belt using morphostructural criteria. *Pure Appl. Geophys.*, 157(112): 79–95.

Gorshkov A., Zhidkov M., Rantsman E., and Tumarkin A. (1991). Morphostructures of the Lesser Caucasus and places of earthquakes, $M \geq 5.5$. *Izv. Acad. Sci. SSSR, Phys. Earth*, 6: 30–38 (in Russian).

Gorshkov A.I., Niauri G.A., Ranzman E.Ya., and Sadovsky A. M. (1987). Use of gravimetric data for recognition of places of possible occurrence of strong earthquakes in the Great Caucasus. In V. I. Keilis-Borok and A. L. Levshin, editors, *Theory and Analysis of Seismological Information*, Comput. Seismol., 18, pp. 117+, Allerton Press, New York.

Gorshkov A.I. and Ranzman E. Ia. (1982). Morphostructural lineaments of the Western Alps. *Geomorphology*, 4: 64+. (in Russian).

Graindorge D., Calahorrano A., Charvis J.p., Collot Y., Bethoux N. (2004). Deep structures of the Ecuador convergent margin and the Carnegie Ridge, possible consequence on great earthquakes recurrence interval. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 31, L04603, doi:10.1029/2003GL018803.

Gutscher, M.A., J. Malavieille, S. E. Lallemand, and J. Y. Collot (1999), Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 168, 255–270, 1999.

Gvishiani A., Gorshkov A., Rantsman E., Cisternas A., and Soloviev A. (1988). Identification of earthquake-prone areas in the regions of Moderate Seismicity. *Nauka, Moscow* (in Russian).

Gvishiani A.D. and Soloviev A. A. (1984). Recognition of places on the Pacific coast of the South America where strong earthquakes may occur. *Earthquake Prediction Res.*, 2: 237+.

Gvishiani A.D., Zhidkov M.P., and Soloviev A.A. (1984). Transfer of the high-seismicity criteria of the Andes mountain belt onto Kamchatka. *Izv. Acad. Sci. SSSR, Phys. Earth*, 1: 20+ (in Russian).

Harpp K., Wanless V., Otto R., Hoernle K, Werner R. (2005). The Cocos and Carnegie Aseismic Ridges:

a Trace Element Record of Long-term Plume–Spreading Center Interaction. *Journal of Petrology*, vol. 46, N. 1, p. 109–133.

Hey, R., 1977. Tectonic evolution of the Cocos–Nazca spreading center. *Geological Society of America Bulletin* 88, 1404–1420.

Kanamori, H., and K. C. McNally (1982), Variable rupture mode of the subduction zone along the Ecuador-Colombia coast, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, 1241–1253.

Keilis-Borok, V.I. e Soloviev, A., Eds. (2003). *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

Kellogg J. N., and Vega, V. (1995). Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: constraints from Global Positioning System, geodetic studies, and gravity. *Geological Society of America Special paper* 295, 75–90.

Kellogg J. N., and Bonini, W. E. (1982). Subduction of the Caribbean Plate and basement uplifts in the overriding South American Plate. *Tectonics* 1, 251–276.

Kossobokov V.G. (1984). General features of the strongest (with $M \geq 8.2$) earthquake-prone areas in the non-Alpine zone of the Transasian seismic belt. In V. I. Keilis-Borok and A. L. Levshin, editors, *Logical and Computational Methods in Seismology*, Comput. Seismol., 17. pp. 69–72, Nauka, Moscow.

Lebrat M., Megard F., Juteau T.H., Calle J. (1985). Pre-orogenic volcanic assemblage and structure in the western cordillera of Ecuador, between 1B40VS and 2B20VS. *Geologische Rundschau* 74, 343–351.

Lonsdale, P. (1978), Ecuadorian Subduction System, *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 62(12), 2454–2477.

LRG (1986). *El Estudio de la Cuenca del Golfo de Guayaquil. Informe integrado para la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE)*. Reporte técnico, 129 páginas.

Mendoza C., and Dewey, J.W. (1984). Seismicity associated with the great Colombia-Ecuador earthquakes of 1942, 1958 and 1979: implications

for barrier models of earthquake rupture: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 74, p. 577-593.

Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gürpinar A., McCalpin J., Mohammadioun B., Mörner N.A., Ota Y. e Rogozhin E. (2007). *Intensity Scale ESI 2007. La Scala di Intensità ESI 2007*, ed. L. Guerrieri e E. Vittori (Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol.74, Servizio Geologico d'Italia –Dipartimento Difesa del Suolo, APAT), Roma, http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/INQUA_Scale/.

Nocquet J.M., Mothes P., Alvarado A. (2009). *Geodésica, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador*. Available as: http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/publis/geodesia_ecuador_texto_y_figuras.pdf

Panza, G.F., 2004. *Correlation among intensity scales*. Available as: http://www.apat.gov.it/site/en-GB/Projects/INQUA_Scale/Documents/. Trieste, 15p.

Pennington, W.D., 1981, *Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America: Journal of Geophysical Research*, v. 86, p. 10753-10770.

Perez O.J., Aggarwal Y.P. (1981). *Present-day tectonics of the southeastern Caribbean and northeastern Venezuela, Journal of Geophysical Research*, 86, B8, 10791-10804.

Ranzman E.Ia. (1979). *Places of Earthquakes and Morphostructures of Mountain Countries*, Nauka, Moscow (in Russian).

RENSIG. Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional de Quito. <http://www.epn.edu.ec/>

Sallarès V., Charvis. P., Flueh.E.R., Bialas.J., and the Salieri.(2005) *Seismic structure of the Carnegie ridge and the nature of the Galàpagos hotspot*.

Sallarès.V., Charvis.P., Flueh.E.R., Bialas.J., (2003) *Seismic structure of Coco and Malpelo Volcanic Ridges and implications for hot spot-ridge interaction. Journal of Geophysical research*, vol.108,No. B12,2564,doi:10.1029/JB002431.

Serva L., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Vittori E., Comerci V. (2007). *Environmental effects from five historical earthquakes in southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment: Contribution to INQUA EEE Scale Project. Quaternary International 173–174*, 30–44

Serva L. (1994) *effetti al suolo in scale di intensità*. Terra Nova. Volume 6, Issue 4, Pages 414-416

Serva L., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Vittori E. & Comerci V. (2007). *Environmental Effects from some historical earthquakes in Southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment. Contribution to INQUA EEE scale project. Quaternary International 173-174 (2007)*, 30-44.

Segovia M.,Alvarado A. (2009). *Breve Análisis de la Sismicidad y del Campo de Esfuerzos en el Ecuador*. Libro: Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador desde la costa continental hasta las islas Galàpagos. 131-149. ISBN-978-9978-92-737-3.

Segovia M. (2001). *El sismo de bahía del 4 de agosto de 1998: Caracterización del mecanismo de ruptura y análisis de la sismicidad en la zona costera*, Tesis de Ing. Geol., EPN, Quito, 136 p,3 anexos.

Silgado F.E. (1957). *El movimiento sísmico del 12 de diciembre de 1953*. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, vol.32, Part 2, pp.225-238.

Soulas J.P. (1988). *Tectonica active y riesgo sísmico*. Informe del Programa de Prevención y de Planificación para desastres en el Ecuador y Países vecinos, Proyecto UNDRO-EPN.

Spikings R. A., Winkler, W., Seward, D., Handler, R. (2001). *Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. Earth and Planetary Science Letters 186*, 57-73.

Swenson J.L., and S.L. Beck (1996), *Historical 1942 Ecuador and 1942 Peru Subduction Earthquakes, and Earthquakes Cycles along Colombia-Ecuador and Peru Subduction Segments*, Pure Appl. Geophys., 146(1), 67– 101.

Taboada A., et al. (2000). *Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia)*, *Tectonics*, 19, 787-813.

Tibaldi A., Rovida A., Corazzato C. (2007). *Late Quaternary kinematics, slip-rate and segmentation of a major Cordillera-parallel transcurrent fault: The Cayambe-Afiladores-Sibundoy system, Nw South America*. *Journal of Structural Geology* 29, 664-680.

Toulkeridis, T., 2009: *Volcanic Galapagos Volcanico*. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, 360pp

Trenkamp R., et al. (2002). *Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations*, *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 157-171.

Vittori E., Guerrieri L., Comerchi V. (2005). *Intensity—fault parameter relationships: implications for seismic hazard assessment*. In: *International Symposium on Active Faults, Hokudan, Japan*, 17–24 January 2005.

Wells, D. L. and Coppersmith, K. J. (1994). *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement: Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 84, p. 974-1002.

White S.M., Trenkamp R., Kellogg J.N. (2003). *Recent crustal deformation and the earthquake cycle along the Ecuador-Colombia subduction zone*. *Earth and Planetary Science Letters* 216, 231-242.

Wiemer S., Wyss M. (1994). *Seismic quiescence before the Landers (M=7.5) and BigBear (M=6.5) 1992 earthquakes*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84: 900–916.

Winter T., Avouac J.P., Lavenu A. (1993). *Late Quaternary kinematics of the Pallatanga strike-slip fault (Central Ecuador) from topographic measurements of displaced morphologic features*. *Geophys. J. Int.* 115, 905-920.

Winter T.H., Lavenu A. (1989a). *Morphological and microtectonic evidence for a major active right-lateral strike-slip fault across central Ecuador (South America)*, *Ann. Tecton.*, 2, 123-139.

Winter T.H., Igelsias R. Lavenu A. (1989b). *Presencia de un sistema de fallas activas en el sur del Ecuador*, *Bol. Geol. Ecuat.*, Vol. 1, 1, 53-67.

Witt C., Bourgois J., Michaud F., Ordonez M., Jimenez N., Sosson M. (2006). *Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as an effect of the North Andean block tectonic escape*. *Tectonics*, vol. 25, TC3017, doi:10.1029/2004TC001723

Wolf (1872). *Terremotos y temblores. Apéndice al Capítulo VII. Revista de los terremotos principales desde el tiempo de la conquista*. *Geografía y Geología del Ecuador*, p. 658p.

LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y LA EXPLORACIÓN SÍSMICA EN EL MAR TERRITORIAL ECUATORIANO

Miriam Lucero¹
Jorge Espinoza²

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de hidrocarburos en el Ecuador y en el mundo ha conducido a PETROECUADOR a la búsqueda de nuevos yacimientos de petróleo y gas. Estudios estratigráficos y de tectónica realizados con anterioridad revelan la posibilidad de encontrar grandes depósitos económicamente rentables, y de esta manera incrementar la producción hidrocarburífera en el Ecuador; esto ha llevado a PETROPRODUCCIÓN filial de PETROECUADOR, realizar los estudios de Prospección Sísmica 2D (bidimensional) frente a las costas del Ecuador; área comprendida entre la frontera con Colombia al norte y la Puntilla de Santa Elena al sur, información que permitirá establecer la estructura geológica del subsuelo marino y con ello la presencia o no de reservas hidrocarburíferas.

A fin de cumplir con lo que establece la Legislación Ambiental y con lo que determina el Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (RAOHE), PETROPRODUCCIÓN elaboró el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y el respectivo Plan de Manejo Ambiental (PMA), para lo cual contrató los servicios del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), institución que con su grupo de expertos del Dpto. de Ciencias del Mar, realizó el estudio requerido, cumpliendo con los estándares de calidad y con lo que dispone la Legislación Ambiental vigente, a fin de asegurar que las zonas donde se realizarán los trabajos de prospección sísmica 2D no sean afectadas en gran escala o que se mantengan dentro de los parámetros aceptables por las políticas ambientales.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de los trabajos de Prospección Sísmica Marina 2D, corresponde al área oceánica de 39.183 km² en el Océano Pacífico, que tiene la forma de un polígono alargado paralelo al borde costero ecuatoriano (Figura 1). Los límites de esta área van desde mar adentro, en zonas de aguas profundas, hasta unos 10 Km antes de llegar a la línea de costa a una profundidad mínima de 20 m. de agua, y entre la frontera con Colombia, al norte, hasta la Punta de Santa Elena, al sur.

El área está limitada por las siguientes coordenadas:

Latitud Norte: 1° 30' N Frontera con Colombia

Latitud Sur: 2° 10' S Punta de Santa Elena

Longitud Oeste: 81° 48' W Frente a la Punta de Santa Elena

Longitud Este: 78° 52' W Frente a la frontera con Colombia

Dentro del área de estudio podemos encontrar algunas condiciones relevantes como: Actividades de pesca de la flota artesanal e industrial, debido a la pesca del atún, toda el área marina es considerada como área de pesca; Las ballenas y otros mamíferos constituyen una de las principales especies de interés dentro del área de estudio.

De norte a sur, se distinguen seis Áreas Naturales Protegidas en la zona marítima:

- *Reserva Ecológica Manglares Cayapas – Mataje*
- *Reserva Marina Galera - San Francisco:*
- *Refugio de vida silvestre Manglares estuario del río Muisne*
- *Refugio de vida silvestre Isla Corazón y Fragatas:*
- *Parque Nacional Machalilla:*
- *Reserva de Producción Faunística Marino – Costera Punta de Santa Elena:*

¹Instituto Oceanográfico de la Armada, Departamento de Ciencias del Mar, e-mail: inocar@inocar.mil.ec

²Consultor Ambiental: jespinoza_50@hotmail.com

El proyecto de Prospección Sísmica ha excluido estos sitios, dentro de sus actividades por considerarse áreas protegidas.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los trabajos de prospección sísmica fueron efectuados con el buque SCAN STIGANDI, el mismo que contó con personal y equipos especializados para este tipo de operaciones. Los datos fueron obtenidos mediante el método de reflexión acústica, el cual consiste en emitir ondas superficiales de sonido, provocadas por la liberación súbita de aire comprimido desde una

fuente hacia el fondo del mar (Figura 2).

Las ondas emitidas generan un frente de ondas acústicas que penetran por el fondo marino y luego son reflejadas hacia la superficie, donde son captadas por unos receptores acústicos, dichos receptores conforman un arreglo lineal de hidrófonos conocidos como “streamers”; cable de 8 km de longitud remolcado a una profundidad de 8 m. Las ondas captadas son enviadas, a través de estos receptores, a una cabina de procesamiento a bordo del buque, donde los datos son almacenados y procesados (SCAN Geophysical ASA, 2008).

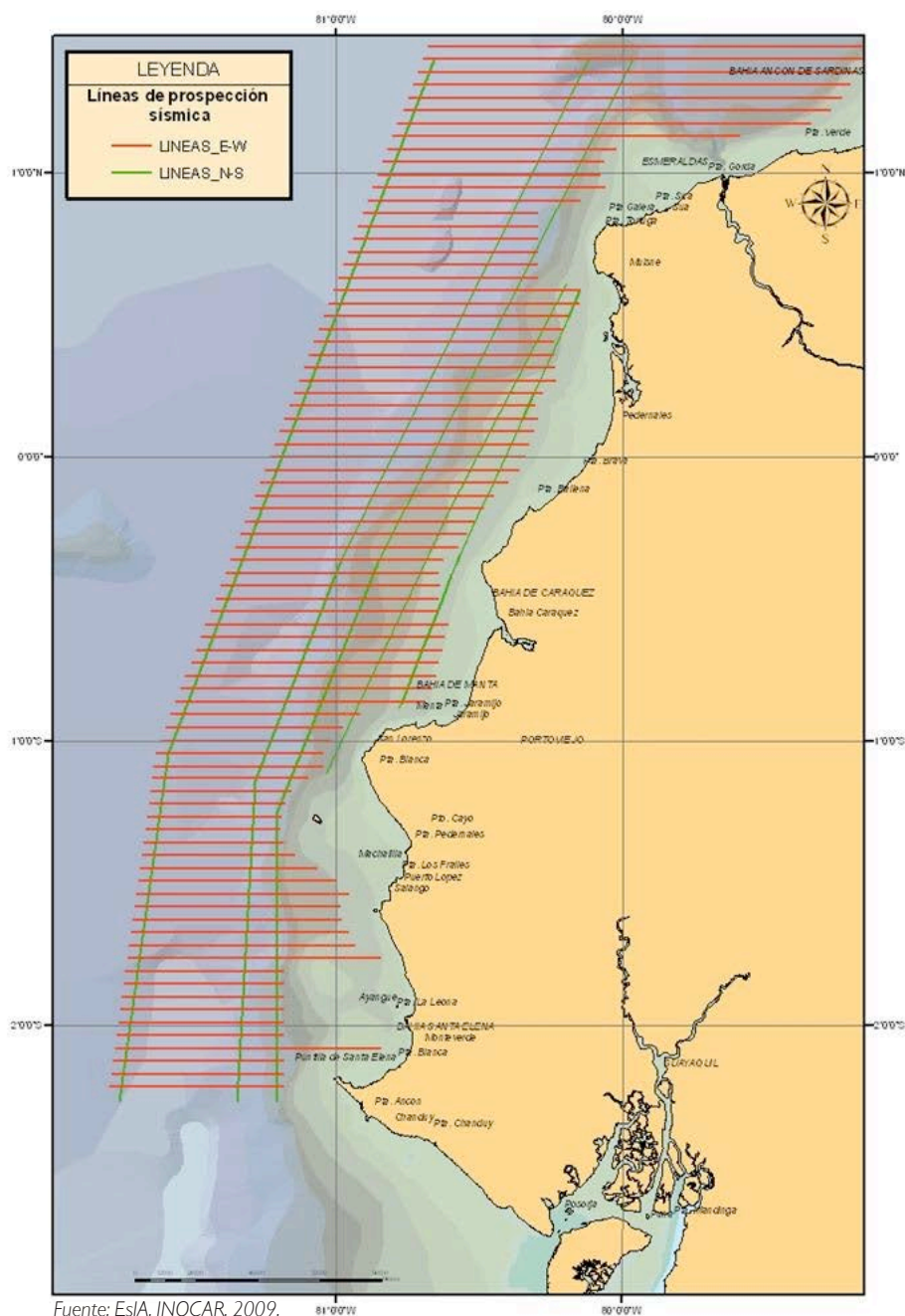
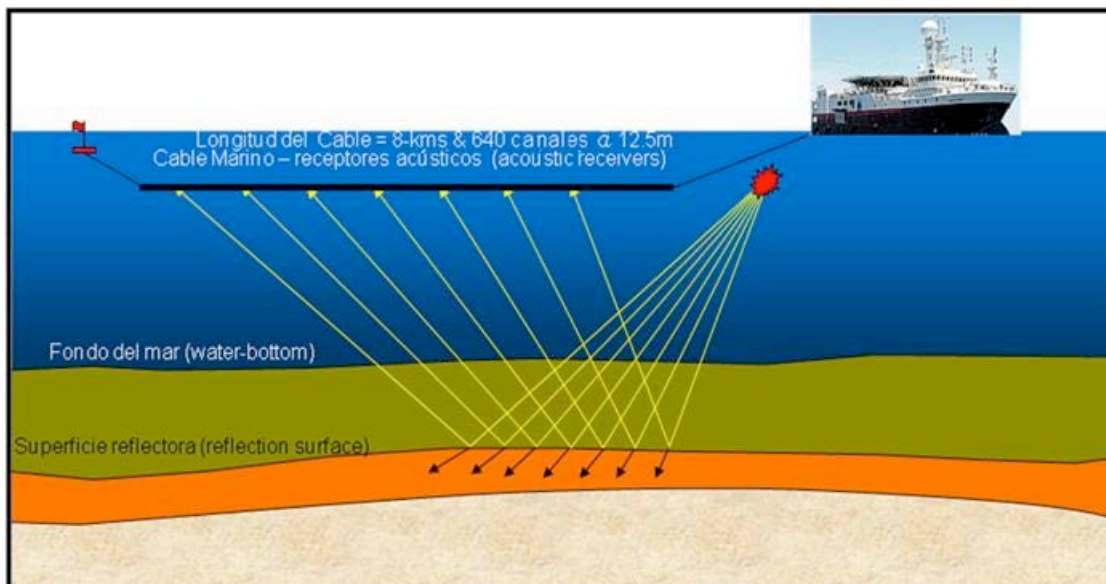


Figura 1. Área de estudio y líneas de Prospección Sísmica 2D.

Para cubrir el área de estudio establecida, el buque realizó aproximadamente 10000 km de línea sísmica, efectuando 82 líneas paralelas, separadas una distancia de 5 km entre ellas, quedando distribuidas uniformemente (Figura 2).

Los trabajos de prospección se realizaron durante las 24 horas del día. Durante la obtención de los datos, la velocidad del buque fue de 4.5 a 5 nudos, con un tiempo estimado de duración de los trabajos de seis meses.



Fuente: Prospección Sísmica 2D, SCAN GEOPHYSICAL ASA.

Figura 1. Esquematización del Método de Reflexión Acústica

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Metodología del Estudio de Impacto Ambiental

Con el propósito de conseguir los objetivos planteados, para el EslA, se diseñó una amplia campaña de investigación, que incluyó observaciones y mediciones en el área del proyecto, las mismas que fueron ejecutadas a bordo de las plataformas de investigación oceanográfica del INOCAR: "BAE ORION"

(Figuras 3 y 4) y "LAE RIGEL" (Figura 5), así como también a bordo del Buque "TOHALLI", del Instituto Nacional de Pesca.

Entre las actividades realizadas durante esta campaña de investigación, está la toma de muestras de campo (Figura 4), el procesamiento de la información y análisis de los resultados obtenidos. Para ejecutar estas actividades se conformó un equipo de profesionales especializados en las diferentes disciplinas ambientales



Figura 3. Campañas de Investigación a bordo del BAE ORION.



Figura 4. Toma de muestras y análisis durante las campañas de investigación, a bordo del BAE ORION.



Figura 4. Toma de muestras durante las campañas de investigación, a bordo de la LAE RIGEL.

La evaluación de los impactos fueron realizados mediante la elaboración de matrices causa-efecto de doble entrada. Cada interacción de la matriz requiere de un Valor de Importancia (Vdl) del impacto, calculado mediante 10 factores que influyen en las características de este. Por definición los impactos generados son de carácter positivo (+) o negativo (-).

El Valor de Importancia (Vdl) del impacto fue calculado a través de la siguiente relación:

$$Vdl = \pm(3I+2Ex+Mo+Pe+Rv+Ac+Si+Ef+Pr+Rc)$$

La ecuación presenta la relación entre diez variables: Intensidad (I), Extensión (Ex), Momento (Mo), Persistencia (Pe), Reversibilidad (Rv), Sinergia (Si), Acumulación (Ac), Efecto (Ef), Periodicidad (Pr) y Recuperabilidad (Rc).

La relación anterior permite una evaluación de los impactos entre impacto bajo (B), impacto

bajo medio (BM), impacto medio (M), impacto alto medio (AM) e impacto alto (A) según una escala establecida.

Determinación de Áreas de Influencia

Las áreas de influencia fueron definidas en función de las siguientes condiciones socio ambientales:

- Presencia de áreas marino-costeras ecológicamente sensibles,
- Presencia de áreas ocupadas con desarrollos poblacionales,
- Desarrollo de actividades productivas por diferentes sectores económicamente activos,
- Desarrollo de actividades extractivas de los recursos naturales pesqueros.
- Las formas o condiciones en que se desarrollarán los trabajos de campo del proyecto,
- Las condiciones ecológicas del área en la cual se desarrollarán estos trabajos,

- La importancia de las condiciones ambientales del entorno en relación a las actividades del proyecto, y
- Las posibles relaciones entre los beneficios ambientales y económicos otorgados por los recursos naturales y los grupos sociales que se benefician de ellos.

En consecuencia, las áreas de influencia fueron definidas en concordancia con los impactos que produciría el proyecto y el alcance espacial de estos sobre los diferentes componentes ambientales. Se puso especial atención al componente humano involucrado básicamente en las pesquerías artesanales y el ecoturismo.

Se estima que el área de impacto directo, comprende el espacio superficial en el que se realizarán los trabajos de prospección, así como la columna de agua por debajo de la superficie y el fondo marino bajo ésta.

Se considera que el área de influencia inmediata no tiene límites físicos reales, y corresponde a los sectores circundantes al área de impacto directo donde se podrían sentir los impactos inmediatos o indirectos de los trabajos de prospección sísmica. Parte de ésta área es el corredor de agua que queda entre el área de sísmica y el borde costero, así como los asentamientos poblacionales donde se desarrollan diferentes actividades dependiente de las pesquerías, el ecoturismo marino-costero y de las áreas naturales marino-costeras protegidas.

LINEA DE BASE AMBIENTAL

La evaluación se realizó sobre los atributos ambientales correspondientes a las Componente Físico, Biótico y Socioeconómico, además se consideró un análisis de riesgos relacionados al proyecto.

Componente Físico:

- Oceanografía física
- Oceanografía química
- Geomorfología
- Componente Hídrico
- Componente Climatológico
- Calidad de Agua
- Calidad de Sedimentos

Componente Biótico:

- Fitoplancton e Ictioplancton
- Zooplancton
- Microbentos y Macrobentos
- Flora y Fauna marina.
- Mamíferos marinos
- Reptiles marinos.
- Aves marinas y terrestres.
- Pesquerías artesanal e industrial

Componente Socioeconómico:

- Descripción del medio Socio-económico
- Población total y Población económicamente activa
- Condiciones de vida
- Población de pescadores artesanales

Marco Legal :

- Leyes, Reglamentos y Normas que rigen las actividades Hidrocarbúrfica.
- Acuerdos Interinstitucionales y Gubernamentales relacionadas al proyecto
- Convenios Internacionales aplicables al Proyecto

Aplicando la relación $Vdl = \pm(3I+2Ex+Mo+Pe+Rv+Ac+Si+Ef+Pr+Rc)$, indicada en la metodología, ha permitido evaluar los impactos según la escala establecida anteriormente, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 1.

La emisión de las ondas sonoras desde las pistolas de aire, es la actividad que individualmente genera los mayores impactos negativos en el componente biótico, con una evaluación de impacto Bajo Medio (-BM). Esta actividad afecta principalmente a los mamíferos marinos, reptiles y peces comerciales.

Las demás actividades generan un impacto de menor magnitud, evaluados como impactos negativos bajos (-B), entre ellos las pesquerías artesanal e industrial, así como la actividad turística.

Tabla 1.- Impactos producidos con la ejecución del proyecto

Componentel	Componente ambiental	mpacto	Carácter
Biótico	Mamíferos marinos	Bajo Medio	Negativo
	Reptiles marinos	Bajo Medio	Negativo
	Peces comerciales	Bajo Medio	Negativo
Socioeconómico	Actividad pesquera artesanal	Bajo	Negativo
	Actividad pesquera industrial	Bajo	Negativo
	Actividad turística	Bajo	Negativo

Fuente: EsIA, INOCAR, 2009

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) está diseñado para la fase correspondiente a la obtención de datos de la sísmica 2D, que es donde se producen impactos negativos de relativa importancia. Para su diseño, se consideró la experiencia de la operadora del buque sísmico ya que ésta conoce las regulaciones nacionales e internacionales que debe cumplir la embarcación principal y de apoyo para este tipo de proyectos; además está en pleno conocimiento de los potenciales impactos que pueden ocurrir en los mamíferos, pesquerías y otros organismos marinos y de las medidas que deben ser adoptadas. En el PMA se incluyen algunas medidas ya conocidas por el buque así como otras propias del presente trabajo en particular:

Se consideró además los aspectos más relevantes de las condiciones ambientales actuales del área de influencia del proyecto, incluyendo las medidas necesarias para las actividades generadoras de impactos. Las medidas ambientales corresponden a los siguientes planes:

- Plan de Medidas de Prevención
- Plan de Medidas de Monitoreo
- Plan de Medidas de Mitigación
- Plan de Medidas de Capacitación.
- Plan de Medidas de Relaciones Comunitarias

CONCLUSIONES

- De manera general, todas las actividades realizadas por el Buque durante la obtención de los datos, producen algún efecto negativo sobre el entorno natural, sin embargo la

actividad de emisión de ondas sonoras es la única que ocasiona los mayores impactos negativos con una evaluación de impacto Bajo Medio (- BM), esta actividad afecta principalmente a los mamíferos marinos, reptiles y peces comerciales.

- La evaluación de los impactos es diferente cuando se evalúa a un solo individuo que a todo el conjunto de individuos, es evidente que un individuo alcanzado por un disparo sísmico, puede ser afectado en forma destructiva, en este caso el impacto es alto, probablemente inmediato, puntual, irreversible. Si observamos a todo el conjunto de individuos, como un banco de peces, los cuales están en movimiento y huyen de las fuentes de ruido, en este caso no se puede determinar cuántos de los individuos han sido afectados, pero dentro de las posibilidades, la afectación a la especie es baja comparada a la que sufriría un solo individuo.
- En cuanto a los mamíferos, la evaluación es similar, con la diferencia que estas especies son consideradas vulnerables ya que se encuentran en menor número que los peces.
- La evaluación de la componente biótica da como resultados características de impacto negativo, extenso, inmediato, temporal, reversible a largo plazo, sinérgico, acumulativo, directo y mitigable.

REFERENCIAS

INOCAR, 2009.- *Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental para la Prospección Sísmica 2D en el mar Territorial Ecuatoriano.*

Lozano Flores Nora, 2004.- *“Análisis Ambiental para la Exploración de Hidrocarburos en España.*

PETROPRODUCCIÓN, 2008.- *Términos de Referencia para el Estudio de Impacto Ambiental para la prospección Sísmica 2D en el mar Territorial Ecuatoriano. Registro Sísmico Marino 2D.*

SCAN GEOPHYSICAL ASA, 2009.- *Especificaciones técnicas de los trabajos de Prospección Sísmica 2D.*

LA PROSPECCION SISMICA COSTERA 2D EN EL MAR ECUATORIANO, LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA MINIMIZAR SUS IMPACTOS

Manuel Cruz ¹

Es verdad que toda acción tiene una reacción y la naturaleza posee Resiliencia ecológica que puede resumirse como "la capacidad de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, es decir, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado. En ese sentido, se observa que comunidades o ecosistemas más complejos (que poseen mayor número de interacciones entre sus partes), suelen poseer resiliencias mayores ya que existen una mayor cantidad de mecanismos autorreguladores" ([http://es.wikipedia.org/wiki/Resiliencia\(ecolog%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Resiliencia(ecolog%C3%ADa))), también podemos definirla como "La cantidad de cambio que un sistema puede soportar y aún mantener el mismo estado o dominio de atracción, ser capaz de auto-organizarse y poder adaptarse a las condiciones cambiantes". (Secretaría de Ambiente y Desarrollo de la Nación, Argentina. agosto 2010 en (<http://www.ambiente.gov.ar/?idseccion=173&aplicacion=glosario&IdPalabra=1133>)).

Se conoce que los efectos de la prospección sísmica produce efectos negativos a la fauna marina en los aspectos físicos, fisiológicos y de comportamiento principalmente a los mamíferos marinos y peces, por esa razón, una de las primeras preocupaciones fue considerar la fecha más recomendable para desarrollar el proyecto sobre Prospección Sísmica, en la Plataforma Continental del Ecuador, para el efecto 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 las costa de Ecuador, que coincida 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 La Plata, esta isla, es área protegida, que esta 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.

Otro aspecto analizado fue 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, con la finalidad de minimizar el daño a estos recursos. Se consideró también la época de reproducción del camarón en su medio natural y la época donde ocurren sus mayores migraciones al ecosistema del manglar, así como la época de reclutamiento a las zonas de pesca.

Otro aspecto importante que se consideró fue 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.

Considerando que es pertinente trabajar con sinergias, pensando en el país, protegiendo, conservando y explotando nuestros recursos de manera sustentable y sostenible para el bienestar de todos y las futuras generaciones, se planificó trabajar en conjunto con la Fundación de Mamíferos Marinos del Ecuador (FEMM) y el Instituto Nacional de Pesca (INP).

¹ Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR)-mcruz@inocar.mil.ec

ÁREA DE ESTUDIO

En el cruce costero se realizaron 28 estaciones distribuidas en 7 perfiles, ubicados en cada grado del mar ecuatoriano. Cada perfil tiene cuatro

estaciones que están a diferentes profundidades: 20, 30, 40 y 50 m. El primer perfil se localiza en el límite con Colombia y el último perfil con el límite del Perú (Figura 1).

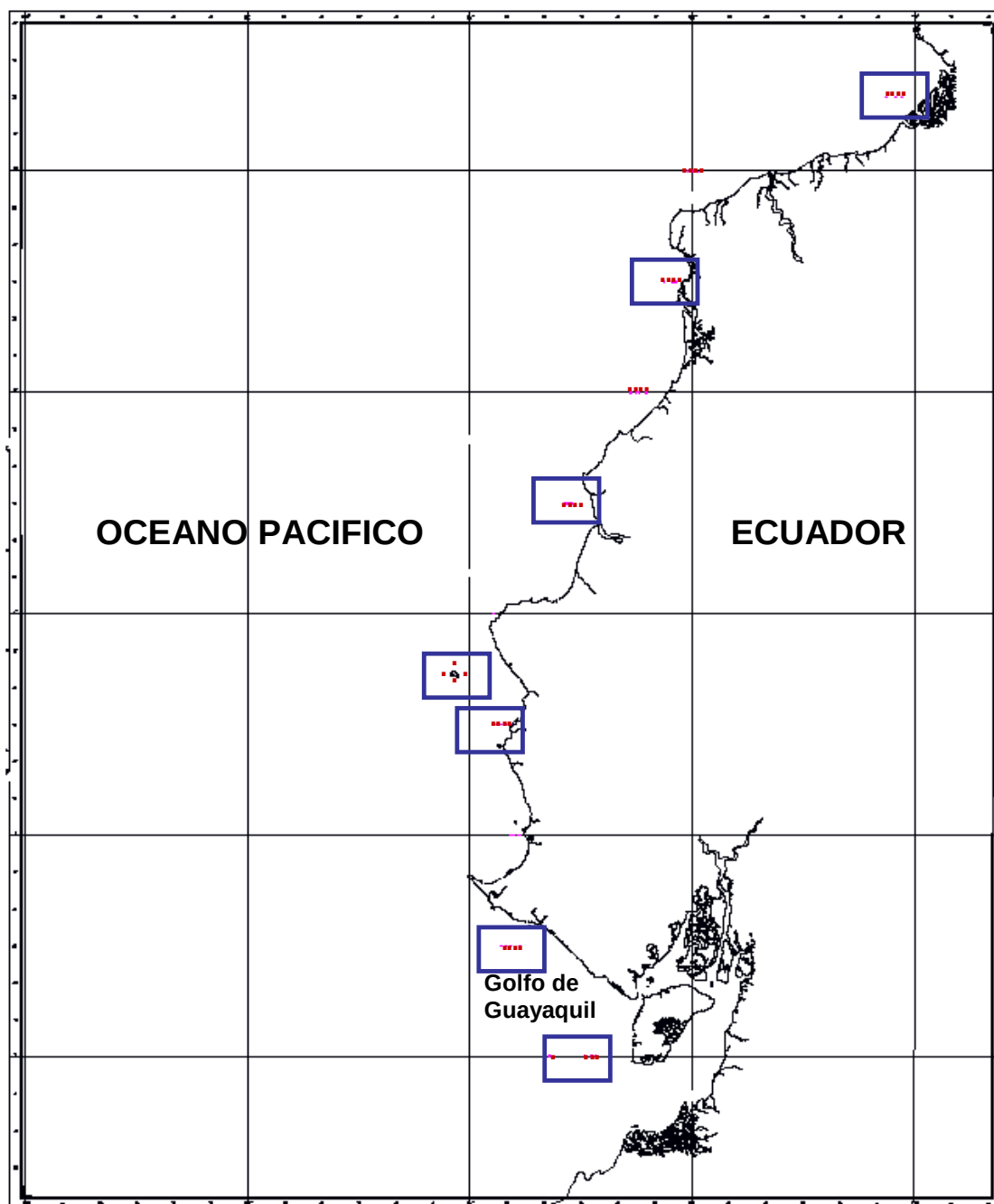


Figura 1. Posición de las estaciones costeras estudiadas

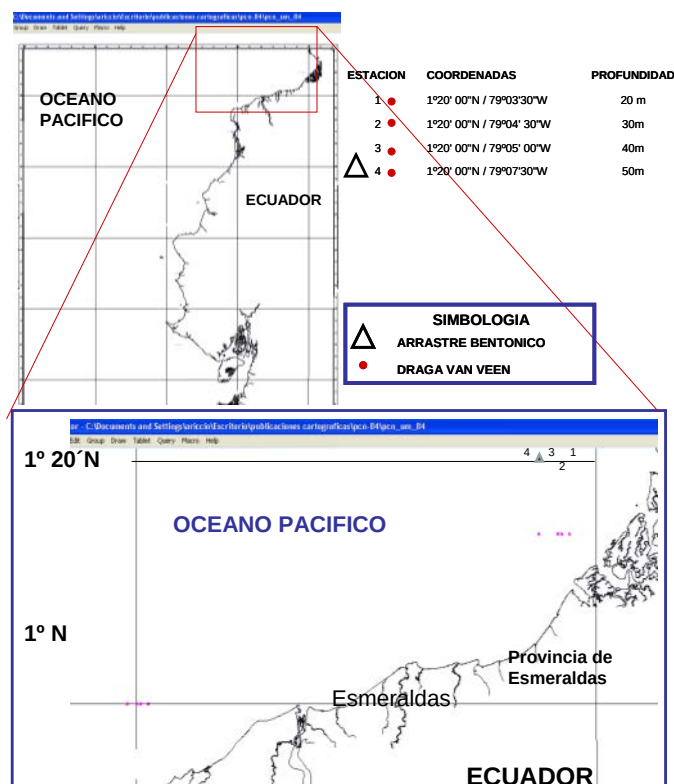
Como ejemplo, tenemos el primer perfil costero al norte del país, las estaciones están georeferenciadas con sus respectivas profundidades (Tabla 1)

Tabla 1.- Coordenadas geográficas de las estaciones, que se realizan a bordo de la LAE RIGEL

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD
1	1°20' 00"N	79°03'30"W	20
2	1°20' 00"N	79°04' 30"W	30
3	1°20' 00"N	79°05' 00"W	40
4	1°20' 00"N	79°07'30"W	50

De igual forma la ubicación en cada mapa orienta de manera clara y precisa el sitio a investigarse como se observa en el perfil 1, al norte del Ecuador (Figura 2), en la simbología indica que

en la estación de 50 m de profundidad se hace un arrastre cualitativo con una red biológica bentónica.



METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Componente Física:

Para la obtención de los parámetros físicos el INOCAR utilizó el CTD SEABIRD el que fue

lanzado a 20, 30, 40 y 50 m de profundidad a fin de medir la distribución de la temperatura salinidad y profundidad.

Los datos fueron transmitidos a la computadora portátil con el software propio del CTD y utilizando el algoritmo de Wilson se calculó perfiles de velocidad del sonido (Figura 3).



Figura 3.- CTD estabilizándose e iniciando el programa antes de registrar los parámetros

En el crucero oceánico se realizan mediciones similares con el CTD hasta los 500 m de profundidad.

También se registra con un correntómetro las mediciones sobre la dirección, velocidad e intensidad de las Corrientes marinas, para ser interpretados por los oceanógrafos físicos en el INOCAR.

Componente Química (Calidad de agua)

Para el estudio de calidad de agua, se colectaron muestras de agua de mar con una botella Van

Dorn en superficie y fondo, se analizan in situ mediciones de pH, oxígeno disuelto, salinidad se preservaron todas las muestras obtenidas que luego son analizadas en laboratorio de Oceanografía Química del INOCAR, donde se analiza e interpreta: Oxígeno disuelto, nutrientes, amonio, nitrógeno total, DBO, DQO, análisis microbiológicos, Hidrocarburos del petróleo totales e Hidrocarburos aromáticos, Metales Pesados (Bario, Cromo, Plomo, Vanadio) y Pesticidas organoclorados y organofosforados (Figura 4).



Figura 4.- Obteniéndose la muestra de agua de la botella Van Dorn para realizar el estudio de los parámetros químicos.

Componente Biológica:

Contajes celulares:- La recolección de las muestras de agua de mar, se la realiza con botellas Van Dorn (superficie y fondo), y se preservan 250 ml de agua con una solución de yodo (lugol), posteriormente en el laboratorio es analizado por biólogos del INOCAR.

Productividad primaria.- Para los estudios de clorofila se colectan 1000 ml. de agua de mar; la que se filtra a bordo con la ayuda de una bomba al vacío y filtros millipore de celulosa de

0,40 mm de diámetro, luego son etiquetadas y protegidas con papel aluminio, se ponen en refrigeración para detener la fotosíntesis y su análisis e interpretación realizarla en los laboratorios de Biología marina del INOCAR.

Plancton.- Los biólogos de INOCAR, realizaron arrastres superficiales con una red de nylon para fitoplancton con un ojo de malla de 55 micras y zooplancton con malla de 335 micras (Figura 5). Los arrastres verticales para fitoplancton y zooplancton se los realizó solo en las estaciones que tenían 50 m de profundidad



Figura 5.- Redes de Nylon recolectando organismos del Plancton

Bentos.- Con la draga tipo Van Veen se obtienen muestras de sedimento las que son lavadas y tamizadas a bordo, luego se separan sus organismos de acuerdo a sus características

taxonómicas. En los laboratorios de INOCAR los biólogos analizan e interpretan los organismos del microbentos y macrobentos (Figura 6).



Figura 6.- Draga Van Veen (izquierda) subiendo y con el sedimento (derecho)

Arrastre bentónico.- Para los estudios cualitativos se usa una red biológica de arrastre bentónico. La muestra es lavada y tamizada a

bordo. De ser necesario los organismos son narcotizados antes de ser fijados y preservados (Figura 7).

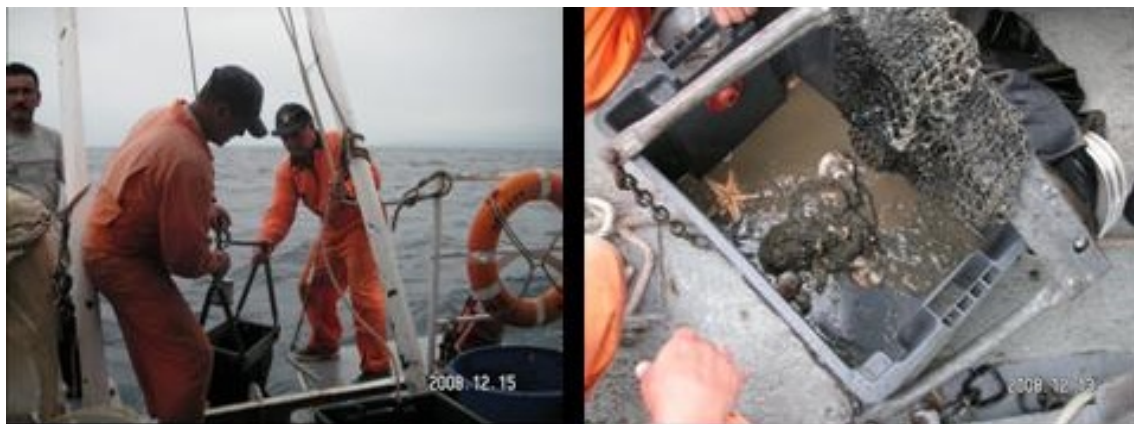


Figura 6.- Red Biológica de arrastre bentónico recolectando la macrofauna marina

Componente Recursos de importancia comercial:

Todos los Recursos pesqueros con énfasis en los demersales, pelágicos pequeños y grandes, así como el ictioplancton que incluyen huevos y larvas de peces, fueron evaluados por el personal técnico del Instituto Nacional de Pesca (INP).

Componente Mamíferos Marinos de la Fundación de (FEMM)

La Fundación Ecuatoriana de Mamíferos Marinos (FEMM), con la participación de cuatro especialistas se encargó de evaluar los Cetáceos, Reptiles y Aves a lo largo de la costa Ecuatoriana. Cada especialista tuvo la responsabilidad de un grupo de mamífero marino o aves, para determinar la composición y abundancia de la población de cetáceos, reptiles y aves oceánicas marinas y costeras, en el área de prospección sísmica, así como evaluar, categorizar y calificar los impactos ambientales.

Componente Geológica:

El análisis de la granulometría del sedimento fue realizado por los geólogos del INOCAR, esta información es utilizada por los biólogos, para relacionarla con las especies bentónicas.

Componente Socioeconómico:

El estudio Socioeconómico, tiene como objetivo, coordinar y socializar el proyecto principalmente con los gremios pesqueros, para evaluar las

actividades que se realizan en los meses de diciembre y enero.

Con toda esta información, de la biodiversidad marina del Ecuador, se pretende seguir con la evaluación para determinar los impactos ocasionados por la prospección sísmica y recomendar las medidas pertinentes para proteger nuestros recursos en el país.

Estos esfuerzos que se están realizando para lograr determinar las riquezas minerales que tiene el país en su Plataforma continental, deben realizarse ahora, cuando estos recursos como el petróleo, todavía tienen un valor considerable y obtener recursos económicos que nos permitan desarrollarnos mejor; es probable que los recursos del petróleo en un futuro, tengan menos valor por el avance de la tecnología y sea sustituido por otras fuentes energéticas.

Es ahora que debemos aprovechar nuestros recursos, pero de manera sustentable y sostenida minimizando el daño ecológico y aplicando medidas de remediación por el bienestar de los pueblos.

CONCLUSION

Para conocer el estado actual del ecosistema marino antes de que se realice la Prospección sísmica en el mar ecuatoriano, el INOCAR,

obtuvo para su estudio de Impacto ambiental (EIA), a bordo de la LAE RIGEL durante el crucero costero un total de 809 muestras en las 28 estaciones programadas, distribuidas de la siguiente manera:

Para los estudios Biológicos 210 muestras, de las cuales se destinaron 32 para contajes celulares, 32 para Clorofila, 26 de Fitoplancton, 26 de zooplancton, 38 para Macrobentos, 28 para Microbentos y 28 muestras para la granulometría del sedimento.

Para los estudios químicos, se obtuvieron 599 muestras, distribuidas para las componentes Calidad de agua y sedimentos, distribuidas así:

En el sustrato agua, las muestras se distribuyeron de la siguiente forma: 56 para temperatura, 56 para la salinidad, 56 para análisis de la conductividad eléctrica, 56 para medir el pH, 56 para los análisis de los nutrientes, 56 para determinar el nitrógeno y amonio, 28 para DBO, 13 DQO, 29 para determinar los coliformes totales y fecales, 17 para Hidrocarburos Totales del Petróleo e hidrocarburos aromáticos, 17 para sólidos totales, 13 para metales pesados y 12 para pesticidas.

En el sustrato de fondo o sedimento se obtuvieron 12 muestras para metales pesados, 10 para pesticidas, 16 para Hidrocarburos Totales del Petróleo e hidrocarburos aromáticos, 14 para coliformes totales y fecales, 27 para azufre elemental y 27 para nitrógeno y fósforo orgánico.

La interpretación del estado de salud de los ecosistemas es realizada por el biólogo especialista en su grupo de organismo, la identificación se realiza a nivel de especie para la interpretación del medio ambiente y los parámetros químicos son interpretados por cada uno de los químicos en su especialidad.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo de la nación, Argentina. Agosto 2010

en (<http://www.ambiente.gov.ar/?idseccion=173&aplicacion=glosario&IdPalabra=1133>)

([http://es.wikipedia.org/wiki/Resiliencia_\(ecolog%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Resiliencia_(ecolog%C3%ADa)))).

BIBLIOGRAFIA

Instituto Oceanográfico de la Armada, 2009.
Estudio de Impacto Ambiental para los Estudios de Prospección Sísmica 2D (bidimensional) frente a las costas de Ecuador.
 Páginas Web visitadas: